

土 木 研 究 所 資 料

道路法面防災技術に関する研究

平成2年3月

建設省土木研究所
機械施工部施工研究室

Copyright © 1990 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

道路法面防災技術に関する研究

大木 達夫	前 地質官
嶋津 晃臣	機械施工部長
藤川 昌幸	現 四国地方建設局企画課係長 (元 施工研究室研究員)
田中 貢	施工研究室研究員
久楽 勝行	土質研究室長
三木 博史	土質研究室主任研究員
古賀 泰之	動土質研究室長
谷口 栄一	新交通研究室長
浅井涌太郎	愛媛県砂防課長 (前 急傾斜地崩壊研究室長)
三井 宏人	長野県上田建設事務所建設課 (元 急傾斜地崩壊研究室主任研究員)
市川 慧	地質化学部長
平野 勇	九州地建立野ダム工事事務所副所長 (元 地質研究室主任研究員)

要 旨

本資料は、フィリピン共和国における道路法面災害について実態調査、要因分析などを通してその特性を把握し、厳しい自然条件下における道路法面防災技術に関して得られた知見について述べたものである。

なお、この研究はフィリピン共和国と共同で行われたものである。

キーワード：法面防災・法面保護工・斜面安定

目 次

1. 序

1.1	調査の目的	1
1.2	調査対象道路	1
1.2.1	日比友好道路	1
1.2.2	バギオ周辺の3本の道路	3

2. 現地調査

2.1	道路法面の実態調査	4
2.1.1	調査方法	4
2.1.2	調査結果	5
2.2	モデル法面の詳細調査	31
2.2.1	調査方法	31
2.2.2	調査結果	33
2.3	降雨量に関する調査	53
2.3.1	降雨量に関する資料の収集	53
2.3.2	資料の整理	53

3. 調査対象区間の道路法面の特徴

3.1	道路法面の形態	59
3.1.1	切土法面	59
3.1.2	盛土法面	62
3.2	法面崩壊の形態	62
3.2.1	切土法面の崩壊と落石の形態	63
3.2.2	盛土法面の崩壊形態	66
3.3	法面崩壊の素因と誘因	66
3.3.1	素因	66
3.3.2	誘因	67
3.4	モデル法面の詳細調査の分析	67
3.4.1	浅い切土崩壊	67
3.4.2	深い切土崩壊	71
3.4.3	落石および岩石の浅い崩壊	73
3.4.4	盛土崩壊	73
3.4.5	地すべり	74
3.5	災害発生と降雨	74
3.5.1	降雨量と法面崩壊との関係	74
3.5.2	降雨からみた崩壊法面の集計	83

4. 調査結果の分析

4.1	実態調査結果の分析	84
4.1.1	分析に用いるサンプル	85
4.1.2	分析の対象とする法面災害	85
4.2	カイ自乗検定による要因の抽出	86
4.2.1	全種類の災害	87
4.2.2	切土法面の崩壊	88
4.2.3	落石	89
4.2.4	盛土法面の崩壊	91
4.3	数量化法による解析	91
4.3.1	全種類の災害	92
4.3.2	切土法面の崩壊	94
4.3.3	落石	96
4.3.4	盛土法面の崩壊	100

5. 日本の法面災害との比較

5.1	地形、地質からみた比較	101
5.1.1	フィリピンにおける調査対象区間の地形、地質の概要	101
5.1.2	地形、地質から見た日本との対比	107
5.2	降雨パターンの比較	111
5.2.1	フィリピンと日本の降雨パターンの比較	111
5.2.2	台風に伴う集中豪雨の降雨パターン	117
5.3	道路法面の比較	123
5.3.1	フィリピンの道路状況	123
5.3.2	フィリピンにおける法面災害	127
5.3.3	日本の道路事情	128
5.3.4	日本の道路災害	128
5.3.5	フィリピンと日本の法面安定性に対する比較	131
5.4	日本の指針のフィリピンへの適用性の検討	136
5.4.1	検討に用いた日本の指針	137
5.4.2	「道路土工のり面工・斜面安定工指針」の適用性の検討	137
5.4.3	危険度判定法の適用性検討	141

6. 調査結果に基づく提案

6.1	フィリピンの道路法面防災への提案	149
6.1.1	法面防災の着眼点および法面保護工に関する提案	149
6.1.2	危険度判定基準の試作と提案	152
6.2	特殊条件下での道路法面防災に関する提案	157

第1章 序

1.1 調査の目的

我国では多くの山岳道路が建設され、防災対策についてもハード・ソフト両面にわたる基準・指針などが整備されその効果をあげてきているが、集中豪雨による法面崩壊などの災害は各地で発生しており、異常気象下の防災技術については十分に確立しきれていない面も残っている。

一方、フィリピン共和国（以下、フィリピンと言う。）では道路法面防災面からみた道路の質的水準の向上は十分とはいえず、法面工や排水工などの防災対策がほとんど講じられていないため、集中豪雨などの厳しい気象条件下において法面崩壊、落石などの道路災害が頻発している。

本調査は、我国に比べて厳しい気象条件を有するフィリピンの道路法面災害の実態調査、要因分析などを通じて、その特性および異常気象下における道路法面防災技術に関する知見を把握し、我国の道路法面災害と比較することにより、今後の我国の道路法面防災技術の向上に寄与しようとするものである。

調査は、既存資料の収集整理、フィリピンの道路法面の実態調査、モデル法面の詳細調査、降雨データの収集などの現地調査と、これらの現地調査結果の分析からなっており、調査結果に基づいてフィリピンの道路法面防災に対する提案をまとめるとともに、我国の法面防災と比較検討し、その相違点および今後の防災対策上の問題点をとりまとめたものである。

1.2 調査対象道路

本調査の対象とした道路は、日比友好道路（Pan-Philippin Highway）およびバギオに通じる3本の道路（ケノン道路（Kennon Road）、アゴー・バギオ道路（Agoo-Baguio Road）、ナギリアン道路（Naguilian Road））である。日比友好道路のうち本調査で対象とするのは首都マニラの北約150kmのサン・ホセ市からイサベラ州のサンチャゴに至る約160kmの区間およびマニラの南方約140kmにあるルセナ市からカマリネスノルテ州のダエトに至る約200kmの区間である。

図-1.1に調査対象道路および対象区間を示す。

1.2.1 日比友好道路

フィリピンの主要島であるルソン（Luzon I.）、サマール（Samar I.）、レイテ（Leyte I.）およびミンダナオ（Mindanao I.）の4島を縦貫する延長約2,100kmの日比友好道路は、この国の最重要幹線である。この道路は6.7mの舗装幅、2.0m～2.5mの路肩を有する2車線道路であり、95%がポルトランド・セメント・コンクリート舗装、残りはアスファルト・コンクリート舗装である。設計速度は平地部で80km～100km/時、丘陵部で60km～80km/時、山岳部で40km～60km/時である。

首都マニラはこの国の巨大な中心地となっているため、このマニラと地方諸都市とを連絡し国土を縦貫する日比友好道路は国の経済・社会活動を支えるとともに、国家として統一・連帯感を増進させる上で多大な貢献をしている。本調査で対象とした区間のうち、北の区間はカガヤン地方とマニラを、そして南の

LOCATION MAP

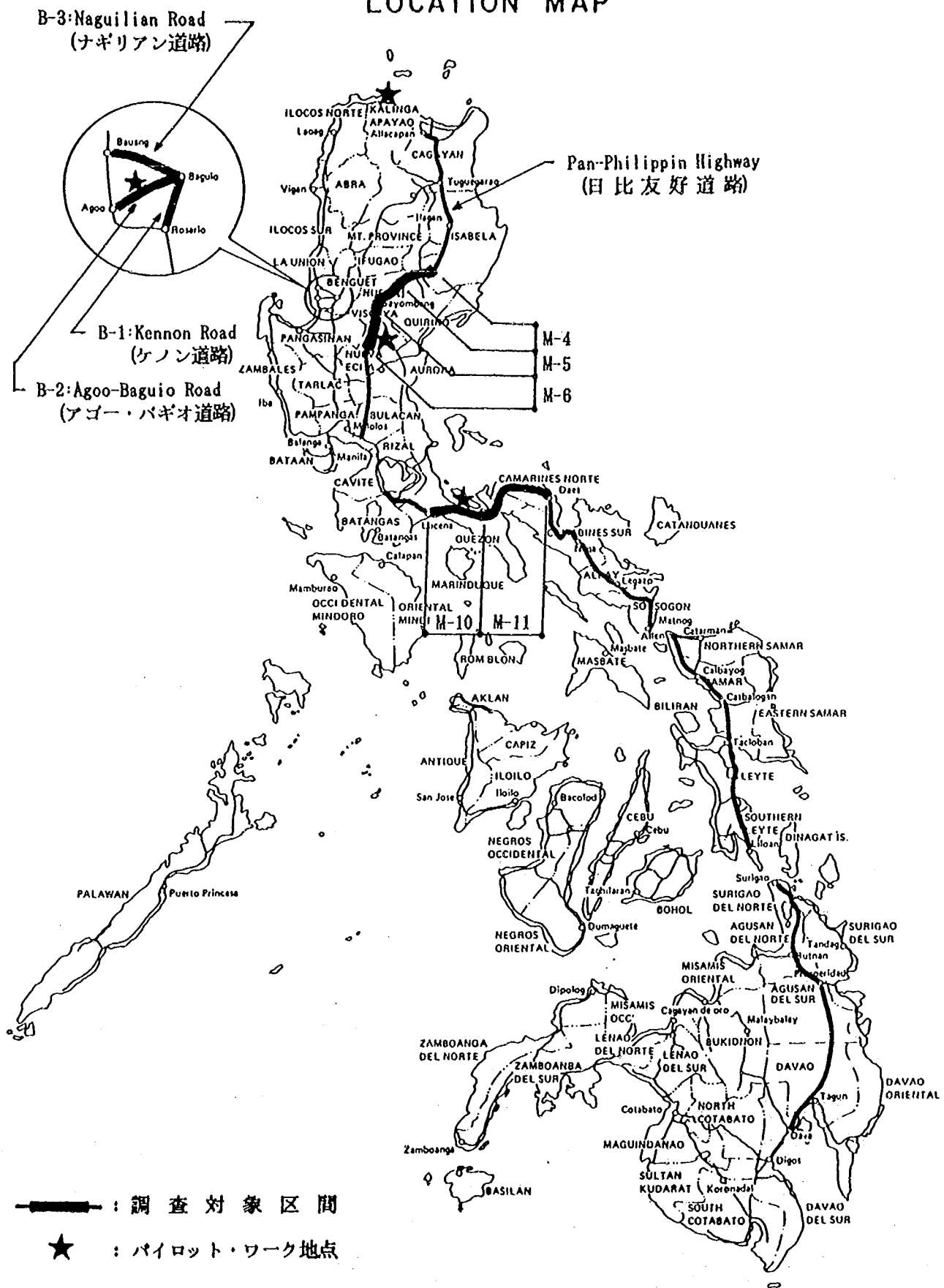


図-1.1

区間はビコール地方とマニラを結ぶ唯一のルートであり、これらの区間が果たす役割はカガヤン、ビコール両地域の発展ばかりでなく、フィリピンの経済活動にとっても重要なものである。

1.2.2 バギオ周辺の3本の道路

ベンゲット州の州都バギオ市は観光・避暑の街、教育の街として知られている人口約20万人（1980年）の都市である。標高約1,500mにあるバギオ市は一年を通して涼しい気候に恵まれており、マニラから車で4時間の距離にあるため、年間50万人を越す観光客が訪れている。また、バギオ市には13の大学、16の高校および47の小学校があり、当地域の教育の中心となっている。

このバギオ市に通じる3本の道路、（ケノン道路、アゴー・バギオ道路およびナギリアン道路）が本調査の対象であり、各道路の概要は次の通りである。

1) ケノン道路

ラウニオン州のロザリオにおいてマニラ・ノース道路から分岐しバギオに至る延長34.2kmの道路であり、首都マニラとバギオとを最短距離で結ぶ路線である。沿道の地形的制約から道路線形は低規格であり、急カーブと急勾配の区間が多い。道路幅も狭く、舗装幅は6.0m、路肩幅は0.5m～1.0mである。この道路は有料道路であり、料金の大部分は維持管理費として利用されている。

ケノン道路の平均日交通量は1,815台（1983年）であり、乗用車、バスの占める割合が大きく、それぞれ48%、26%となっている。これは観光客の大半がケノン道路を利用しているためで、本道路はバギオ市の観光産業を支える道路といえる。

2) アゴー・バギオ道路

ラウニオン州のアゴーでマニラ・ノース道路から分岐しバギオに至る延長48.9kmの道路である。舗装幅は6.7mであり、2.0～2.5mの路肩を有している。バギオ側の36km区間は地形的制約から道路線形の規格は低く、急カーブと急勾配が多い。

本道路の交通量は少なく、1983年の調査ではわずか258台／日であった。

3) ナギリアン道路

マニラ・ノース道路をラウニオン州のバワンで分岐しバギオに至る全長47.2kmのナギリアン道路は対象とした3本の道路の中では最も古い道路であり1919年に共用が開始された。バギオ側の30km区間は急カーブと急勾配が多く、線形は低規格である。道路幅員も狭く、舗装幅は6.0m、路肩は0.5m～1.0mである。

ナギリアン道路はトラック交通が多く、それらの大半はラウニオン州のサンフェルナンドの港とバギオ市を結んでおり、バギオで消費される海産物や石油などとともにバギオ周辺で採掘される銅鉱石がこの道路を運ばれている。平均日交通量は1,196台（1983年）であるが、バギオ市の産業、生活を支える道路と位置付けされる。

第2章 現地調査

2.1 道路法面の実態調査

道路法面災害の特徴を明らかにするために、次の2種類の実態調査を実施した。

①現状調査：調査対象法面の抽出と、抽出された対象法面の現状（高さ、勾配、地質など）の調査

②被災調査：災害の発生した法面の被災状況（崩壊の規模、被災時の気象、発生原因など）の調査

なお、調査対象法面とは、調査対象区間の全道路法面のうち崩壊、落石などの災害が発生した場合に道路交通に影響を与えると思われる全法面である。

初年度調査（昭和59年度）では調査対象区間において358箇所の調査対象法面が抽出され、それらのうち災害が発生した場合の道路への影響が比較的大きいとみられた179法面について現状調査が実施された。また昭和60年度の調査では、初年度調査で道路への影響が比較的小さいとみなされた179箇所の対象法面と調査中に新たに対象法面とした71法面に対しての現状調査を実施するとともに、初年度から昭和60年度調査時までの間に発生した災害の被災調査を行った。

最終年度の調査では前年度までに調査された429法面を対象とした追跡調査を実施し、災害が発生した法面に対しては被災調査を行った。昭和61年7月に対象地域を襲った大型の台風により数多くの法面が被災を受けるとともに、状況が大きく変化した法面も数多くあったため、新たに145法面を対象法面に加え、それらの法面についての現状調査を実施した。

各年度の調査法面数を図-2.1、各調査対象区間の対象法面数を表-2.1に示す。

2.1.1 調査方法

1) 現状調査の方法

現状調査は日本側の調査チームとDPWHの職員との共同作業で実施した。対象法面では簡単な測定器

調査年度	対象法面の抽出 (抽出された法面数)	現 状 調 査 (調査した法面数)	被 災 調 査
59 年度	影響大きい:179 影響小さい:179	179	災害発生回数 対象法面数
60 年度	71	71 + 179 = 250	156 429
61 年度	145	145	199 574
合 計	574	574	355 574

図-2.1 実態調査・調査法面数の推移

表-2.1 調査対象区間

番 号	路 線	区 間	延 長	対象法面
M-4	日比友好道路	サンチャゴーバガバグ	44.2km	22
M-5	"	バガバグーアリタオ	46.9km	11
M-6	"	アリタオーサン・ホセ	77.5km	155
M-10	"	ルセナーカラウアグ	95.3km	39
M-11	"	カラウグーダイエット	107.6km	40
B-1	ケノン道路	ロザリオーバギオ	34.2km	102
B-2	アゴー・バギオ道路	アゴーーバギオ	48.9km	120
B-3	ナギリアン道路	バウアンーバギオ	47.2km	85
			501.8km	574

具と目視とにより法面の現状を調べ、図-2.2に示す調査標 (INITIAL RECORD ON DISASTER SLOPE) に記録するとともにスケッチ、写真を添付した。作成された調査標は調査年度ごとに「フィリピン国道路法面台帳」として別途取りまとめた。

2) 被災調査の方法

調査対象法面で災害が発生した場合、その被災の状況を調査した。調査は4半期ごとに巡回により行う定期的な変状調査と災害発生時に行う被災調査からなっている。

調査では被災法面のスケッチ、写真撮影を行うとともに、図-2.3に示す調査標 (OBSERVATION RECORD ON DISASTER SLOPE) に被災状況を記録した。なお、ここでの「被災」とは次に示す状況を意味し、これ以外の小規模な法面の変状は含んでいない。

- ・崩壊した岩、礫、土砂が路肩に留まらず、本線まで崩れ出した場合。
- ・法面が道路から離れているため、土砂などは本線まで崩れ出していないが、崩壊した岩や土の量が多い場合。
- ・谷側の崩壊が本線までかかっている場合。
- ・路肩が広い場合、谷側の崩壊が本線まで至っていないが、崩壊が深い場合。
- ・その他、道路交通に何らかの影響を与える場合。

2.1.2 調査結果

昭和59年度から3年間にわたって実施した現地調査により、574箇所の法面において斜面の状況が調べられている。また、この間に対象法面で記録された被災は延べ355回になり、それらの被災状況が調査されている。これらの調査結果を集計することにより、調査対象区間における被災法面および災害危険法面の現状を統計的に明らかにする。

1) 調査結果の集計 (全区間の集計)

574箇所の全調査対象法面について法面の高さ、勾配、法面を構成する地質、道路への影響などについて

Route		Km. Post	Region	Spot No.
Slope Condition	1	Kind of Slope	(1) Cut Slope (2) Natural Slope (3) Embankment Slope	
	2	Slope Height	(1) 10 m (2) 10~30 m (3) 30~50 m (4) 50 m Average m	
	3	Slope Gradient	(1) 45° (2) 45°~60° (3) 60° (4) Overhanging Average °	
	4	Slope Direction	(1) North (2) South (3) East (4) West	
	5	Slope Shape	Longitudinal Section	(1) Ridge (2) Valley (3) Straight
			Cross Section	(1)  (2)  (3)  (4)  (5) 
	6	Drain	(1) Existing — Number () Width () (2) Nothing	
	7	Erosion	(1) None (2) Common (3) Frequently	
	8	Slope Protection	(1) Nothing (2) Structures () (3) Vegetation	
9	Vegetation	(1) None (2) Grass (3) Bush		
Geological Condition	10	Geology	(1) Hard Rock (2) Soft Rock (3) Gravelly Soil (4) Sandy Soil (5) Cohesive Soil	
	11	Name	(1) Granite (2) Diorite (3) Diabase (4) Andesite (5) Schist (6) Gneiss (7) Slate (8) Limestone (9) Schiststein (10) Tuff (11) Tuffbreccia (12) Sandstone (13) Shale (14) Mudstone (15) Conglomerate (16) Basalt (17) Volcaniclastics	
	12	Weathering Condition	(1) Fresh (2) Slightly Weathered (3) Highly Weathered	
	13	Condition of Crack	(1) Sparse (2) Regular (3) Developed	
	14	Direction of Crack	(1) Inclined to Mountain (2) Irregular Inclination (3) Inclined to Slope	
	15	Compactness	(1) Tight (2) Slightly Loose (3) Loose	
	16	Rock Size	(1) 75 mm (2) 75 mm~30 cm (3) 30 cm~75 cm (4) 75 cm<	
	17	Rock Shape	(1) Angular (2) Round	
	18	Soil	(1) Tight (2) Slightly Loose (3) Loose	
Water Condition	19	Surface Water	(1) None (2) Non-Concentrated (3) Concentrated	
	20	Ground Water	(1) None (2) Seepage Type (3) Spring Type	
	21	Drainage Facilities	(1) Nothing (2) Existing ()	
Engineering Judgement	22	Expected Type of Disaster	(1) Surface Failure (2) Deep Failure (3) Rock Fall (4) Debris Flow (5) Landslide	
	23	Possibility	(1) Little (2) Fair	
	24	Impact to Road	(1) Low (2) Average (3) High	
Data of Survey	25	Date of Survey	Day () Month () Year ()	Surveyor
	26	Weather	(1) During Dry Days (2) After Slight Rain (3) After Heavy Rain	
PHOTOGRAPH SKETCH				

図-2.2 調査票 (INITIAL RECORD ON DISASTER SLOPE)

Province				Municipality				
Region		Km. Post		Spot No.		Name of Typhoon		
Evidence of Disaster	1	Date Occurred	Day () Month () Year ()					
	2	Kind of Disaster	(1) Surface Failure (2) Deep Failure (3) Rock Fall (4) Debris Flow					
	3	Kind of Slope	(1) Cut Slope (2) Natural Slope (3) Embankment					
	Failure	4	Height	() m				
		5	Width	() m				
		6	Depth	() m				
		7	Volume	() m ³				
	Fall	8	Rock Size	Max (cm x cm x cm)				
		9	Height of Fallen Rocks	() m				
		10	Total of Fallen Rock	(Piece) or (m ³)				
	11	Slope Protection	(1) Structure (2) Vegetation (3) Nothing					
	12	Traffic Interruption	(1) Fully Closed (days) (2) Partially Closed (days) (3) Not Interrupted					
	13	Traffic Accident by Disaster	(1) None (2) Occured (Total of Dead and Wounded ())					
	14	Rain Fall	(1) None (2) Slight Rain (3) Heavy Rain (mm)					
	15	Counter Measure Taken	(1) Only Fill (2) Removal of Materials (3) Structure ()					
	16	Cause of Disaster	(1) Ground Water (2) Surface Water Concentration (3) Weathering (4) River Stream (5) Earthquake (6) Becoming Muddy					
Date of Survey		Day () Month () Year ()		Surveyor				

図-2.3 調査票 (OBSERVATION RECORD ON DISASTER SLOPE)

て、それらを調査項目ごとに集計した。

(1) 法面の高さ

図-2.4に示すように10m～30mの法面が全体の半数以上を占めている。次いで10m以下の小さい法面が多く50m以上の長大法面は全体の5%にすぎない。

法面の種類別にみると切土法面、自然斜面は上記の傾向と同じであるが、盛土法面では10m以下の小さい法面が最も多く、30mを越える大きな法面は非常に少ない。

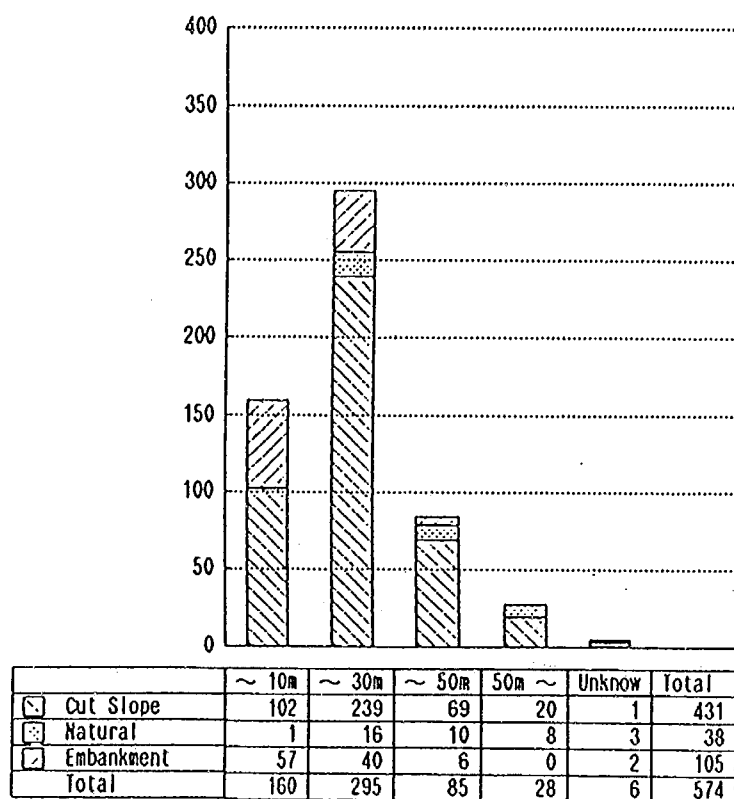


図-2.4 法面の高さ

(2) 法面の勾配

切土法面では勾配が 60° 以上のものが大部分である。

自然斜面の場合の法面勾配は 45° 以下のものが大部分であるが、全体に溪床勾配が急で地表水による浸食が大きく土石流を誘発しやすい。

盛土法面の場合も勾配は 45° 以下が主体であるが、 60° 以上の急勾配の盛土法面もみられる。(図-2.5)

(3) 法面の方向

法面の方向は、全体的に西を中心に南西、北西方向を向いたものが多くみられる。(図-2.6)

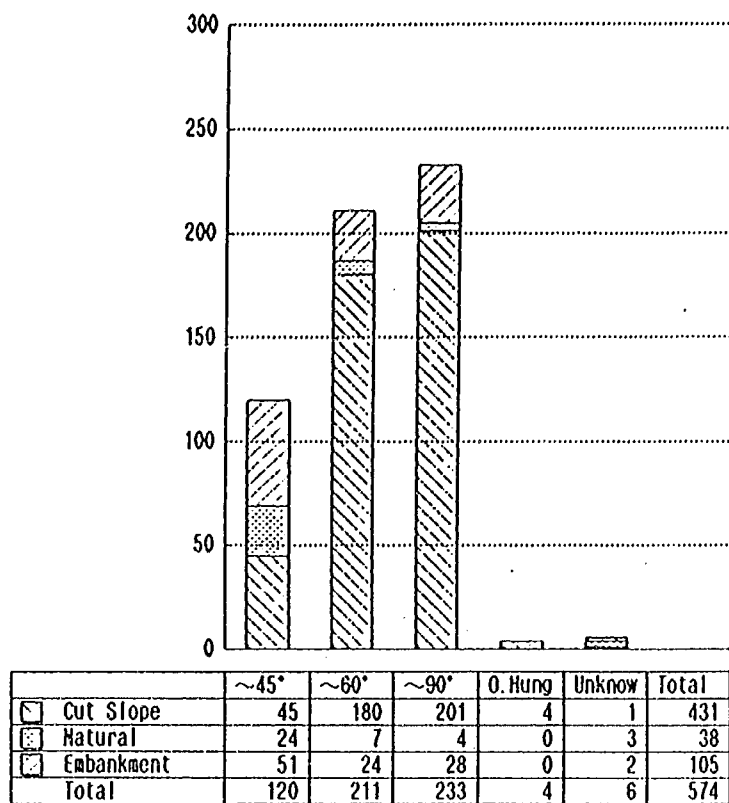


図-2.5 法面の勾配

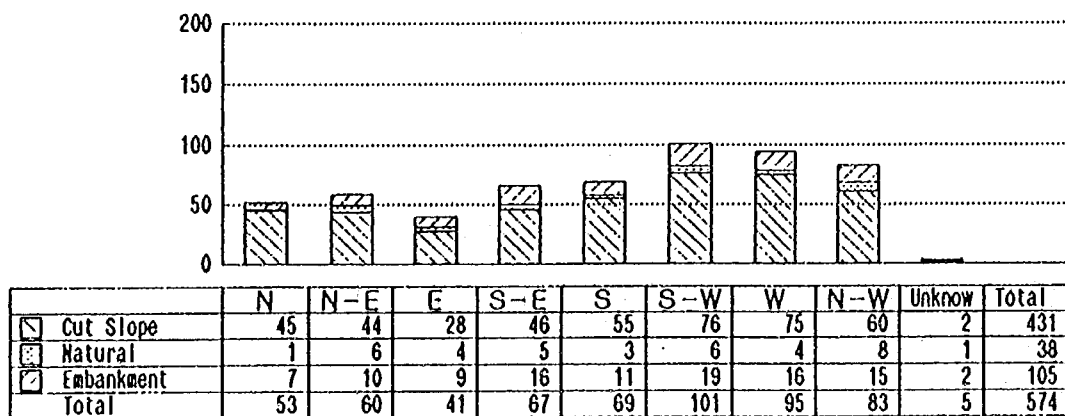


図-2.6 法面の方向

(4) 平面形状

自然斜面および盛土法面では、谷型が多く、それぞれ全体の約60%を占めている。

一方、切土法面は尾根型、谷型、直線型がほぼ平均していて、特徴はみられない。(図-2.7)

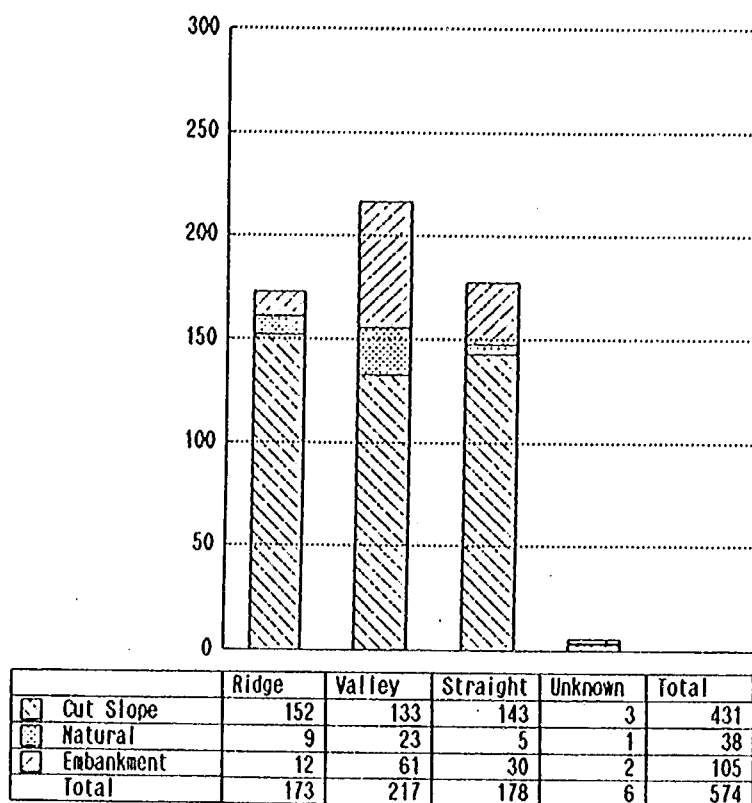


図-2.7 法面の平面形状

(5) 断面形状

切土法面の断面形状は尾根地形を示す凸型および長大法面となる直線型の形状が多く、自然斜面では凸型と凹型を繰り返す逆S型が多い。また、盛土法面では、地表水の集中しやすい凹型の形状を持つものが多くみられる。(図-2.8)

(6) 小段の有無

切土法面では小段を有するものは非常に少なく、ほとんどの法面は高さ、切土勾配に関係なく小段は設けられていない。

盛土法面も同様に小段を持たないものが圧倒的に多く、石積みが構築されている場合も高さや勾配に関係なく小段が設置されていないものが多い。(図-2.9)

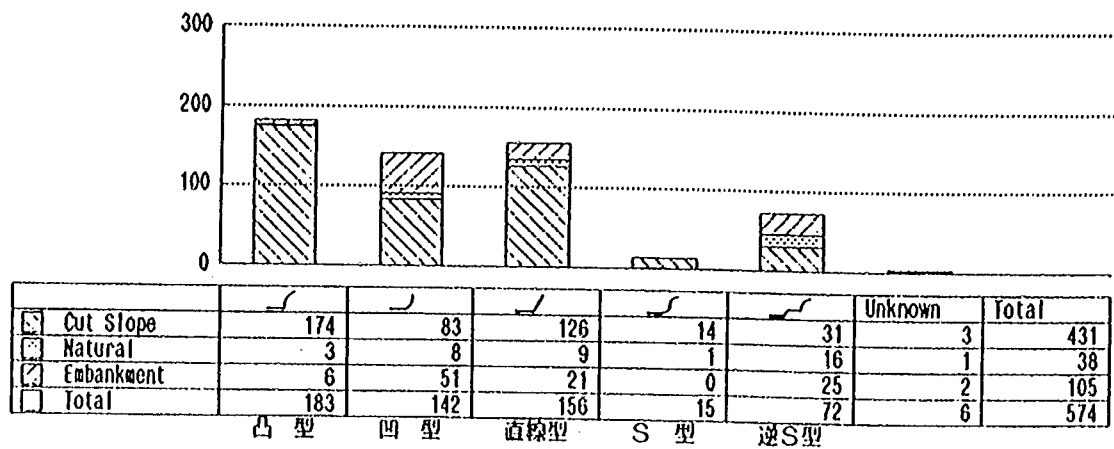


図-2.8 法面の断面形状

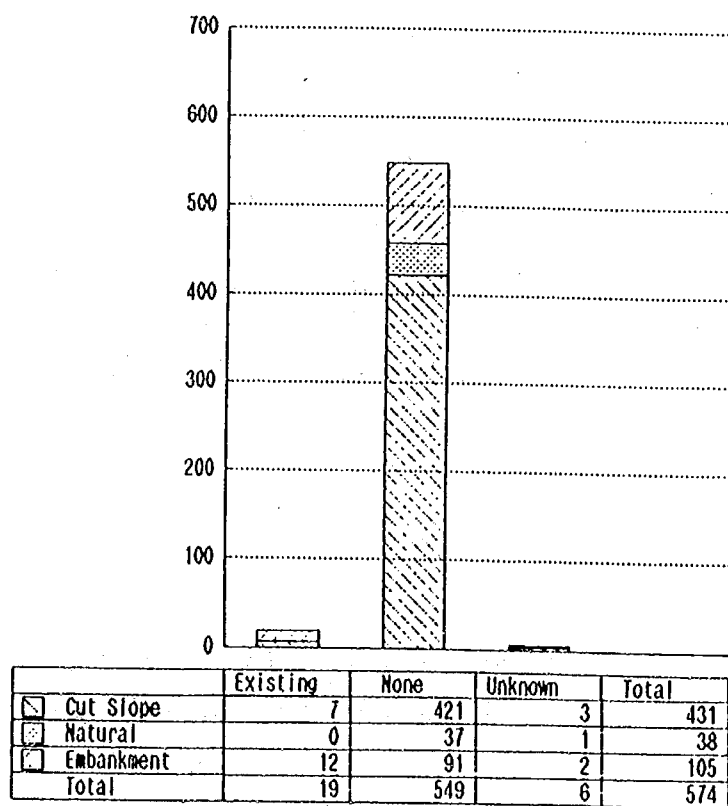


図-2.9 小段の有無

(7) 浸食の程度

切土法面および自然斜面では、中程度の浸食を受けた法面の数が、あまり浸食されていない法面や浸食の激しい法面に比べて多い。あまり浸食されていない斜面は硬岩で、中程度の浸食を受けた斜面は軟岩で、そして浸食の激しい斜面は風化軟岩または土砂で構成されている。

盛土法面は激しく浸食を受けているものが多い。(図-2.10)

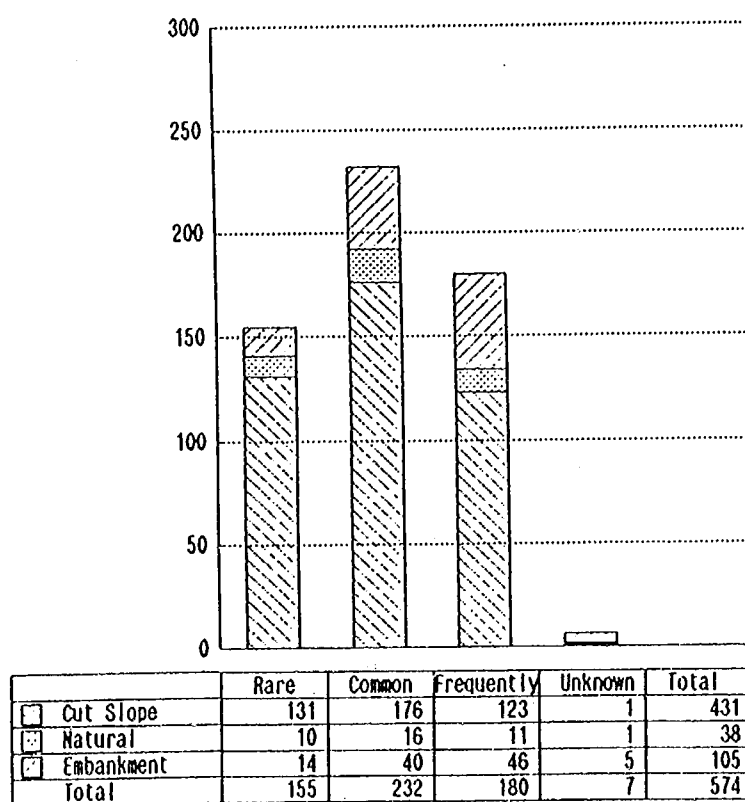


図-2.10 侵食の程度

(8) 法面保護

切土法面および自然斜面の場合、表面が草や灌木などの自然植生で覆われているものが最も多く、次いで裸地が多い。構造物が構築されている斜面は極めて少なく、法面保護がある場合でも斜面の下方に石積みが施されている程度である。

盛土法面の半数は構造物(石積み)で覆われているが、石積みが施されている法面でも数多く崩壊が発生している。(図-2.11)

(9) 地質構成

図-2.12に法面の地質構成、図-2.13に岩の種類を示す。

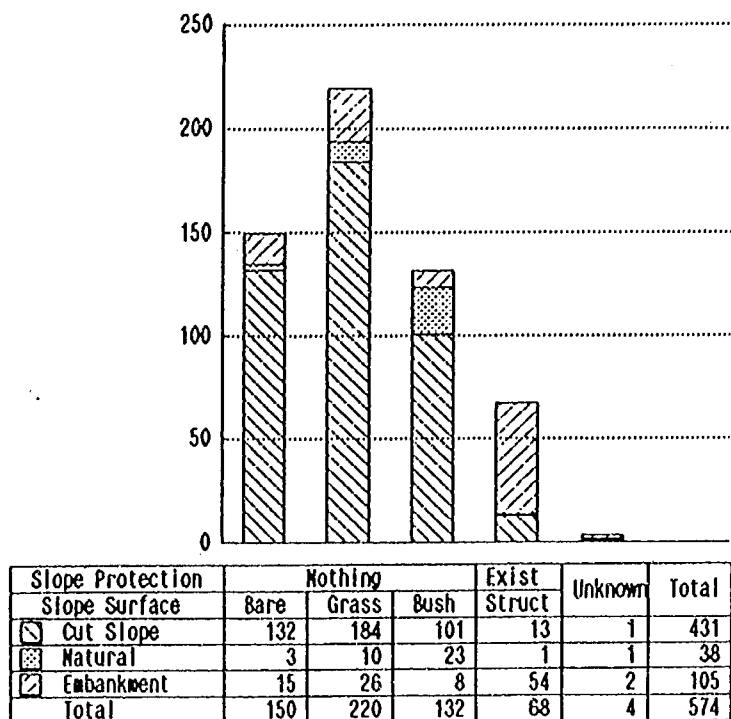


図-2.11 法面保護の状況

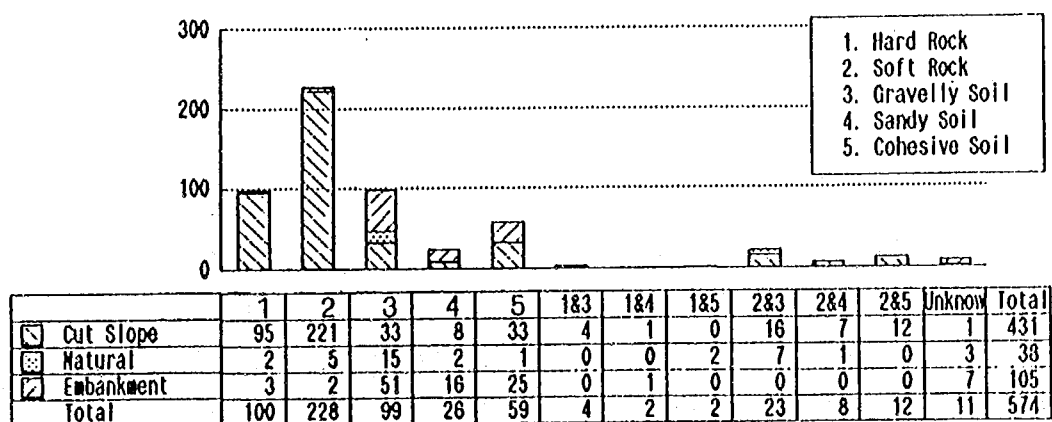


図-2.12 法面の地質構成

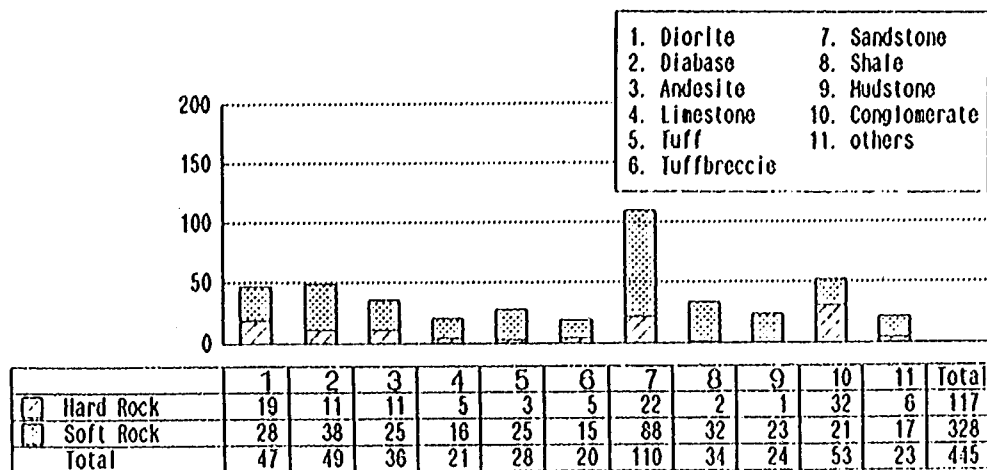


図-2.13 岩の種類

切土法面は軟岩で構成されているものが多く、全体の半数以上を占めている。また、自然斜面では河床堆積物である礫混じり土が最も多い。盛土法面は礫混じり土で構成されているものが多く、以下、粘性土、砂質土の順となっている。

岩で構成されている法面については、岩の種類、風化状態、亀裂の発達程度および亀裂の方向が調査されている。これらの集計結果を図-2.14に示す。

岩の種類では砂岩が最も多く、礫岩、閃緑岩、輝緑岩がこれに続いている。

岩で構成された対象法面の多くは亀裂が発達しており、特に軟岩では8割近くに及んでいる（図-2.15）。

亀裂の方向では明確な受け盤や流れ盤の形状を示さず、不規則に入っているものが多い。（図-2.16）

一方、礫混じり土で構成されている法面では、締まり程度、礫の大きさ、礫の形状が調査されており（図-2.17～図-2.19）、砂質土や粘性土の斜面では、土の締まり程度が調査されている（図-2.20）。

礫混じり土では礫の形状から角礫を主体とした崖錐層と円礫を主とした段丘堆積物とに区分できる。角礫が円礫よりも多く、対象法面は段丘地域より崖錐地域に多く分布していると考えられる。

土層の状態としてはともに締まり具合は弱く、礫径は10～30cm程度のものが多い。

砂質土、粘性土ともに土の締まり具合は緩く、崩壊しやすい要因を備えている。

(10) 排水の状況

排水施設の有無を基準にして地表水、地下水の状態を集計した。（図-2.21、図-2.22）

排水施設の無い法面で地表水や浸透水、湧水のみられるところが相当数存在し、法面を構成している土層の軟弱化を助長し、地下水位上昇の原因になっている。

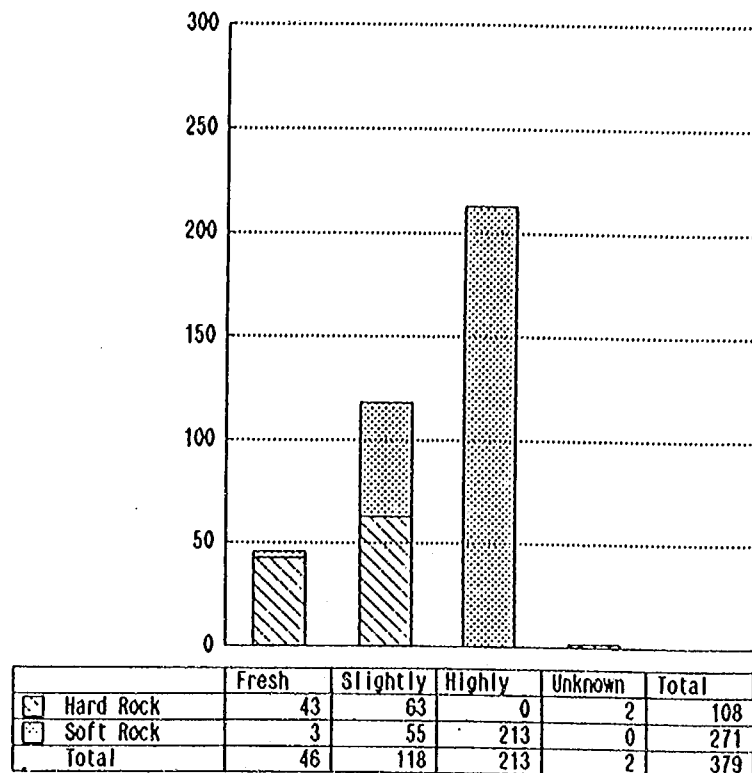


図-2.14 岩の風化状態

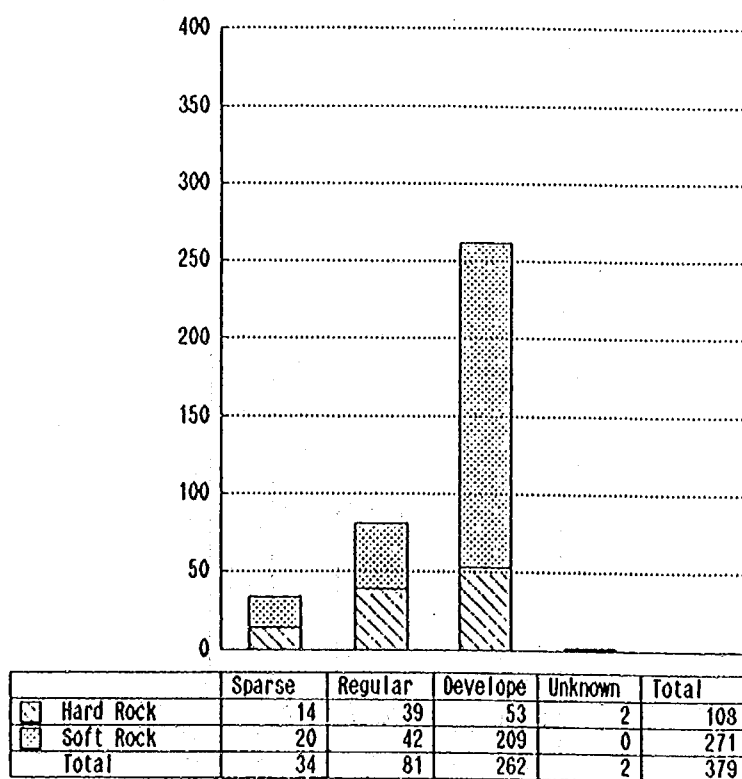


図-2.15 岩の亀裂の状態

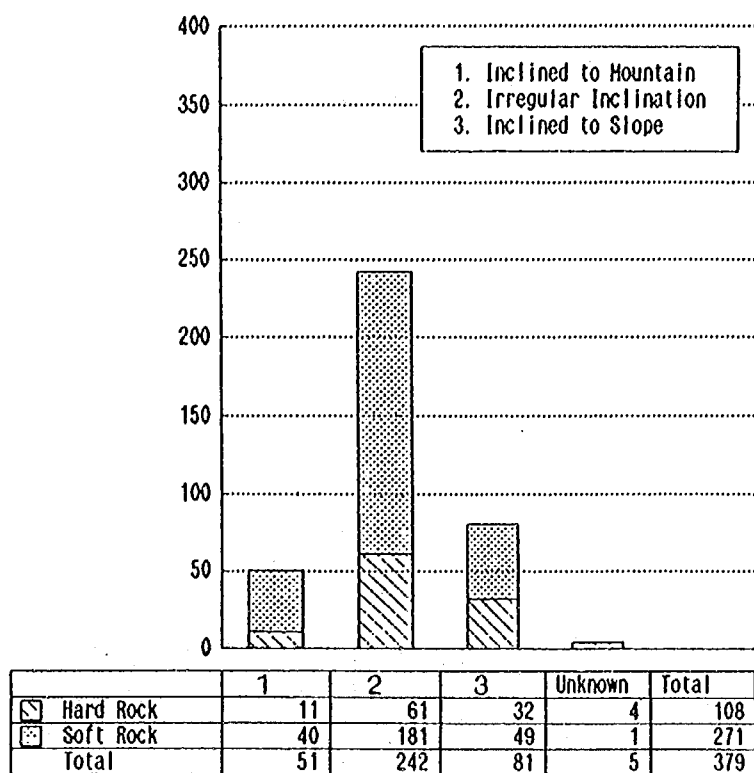


図-2.16 岩の亀裂の方向

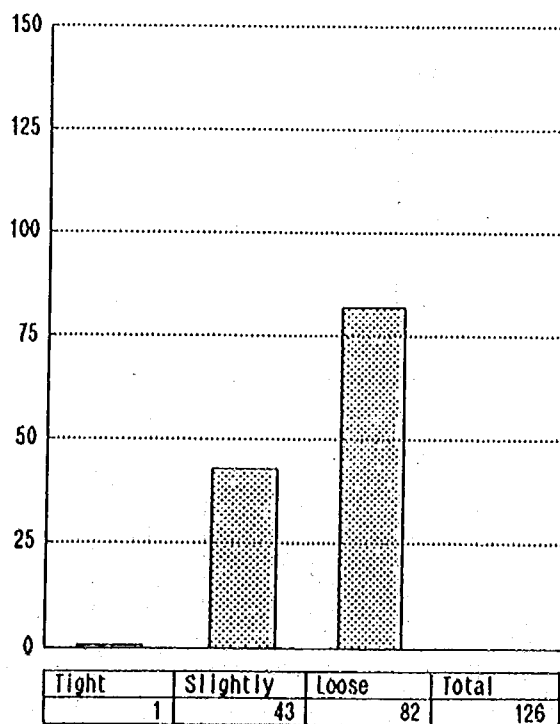


図-2.17 礫まじり土の締めり程度

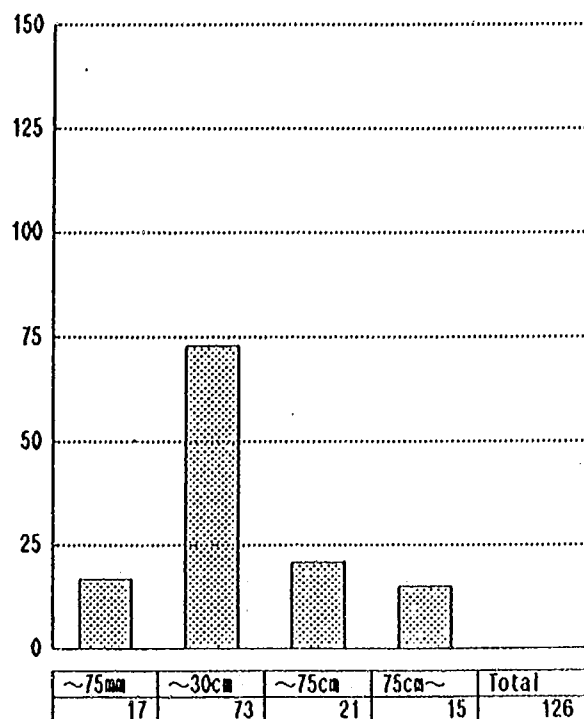


図-2.18 礫の大きさ

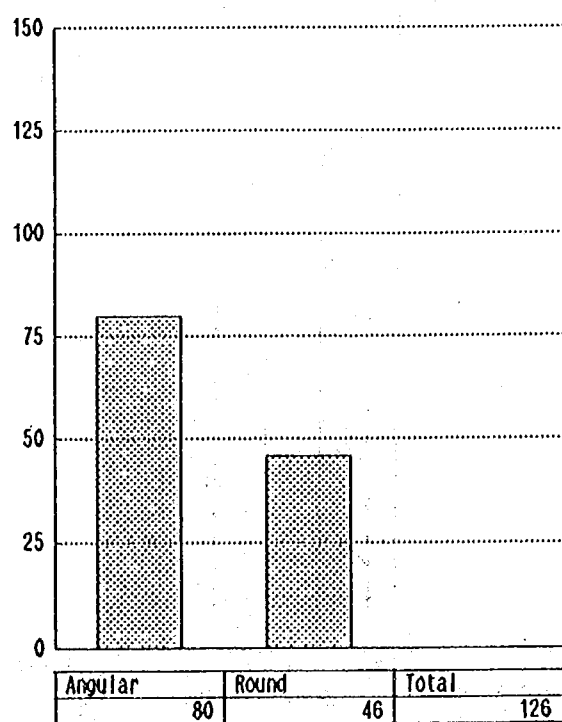


図-2.19 礫の形状

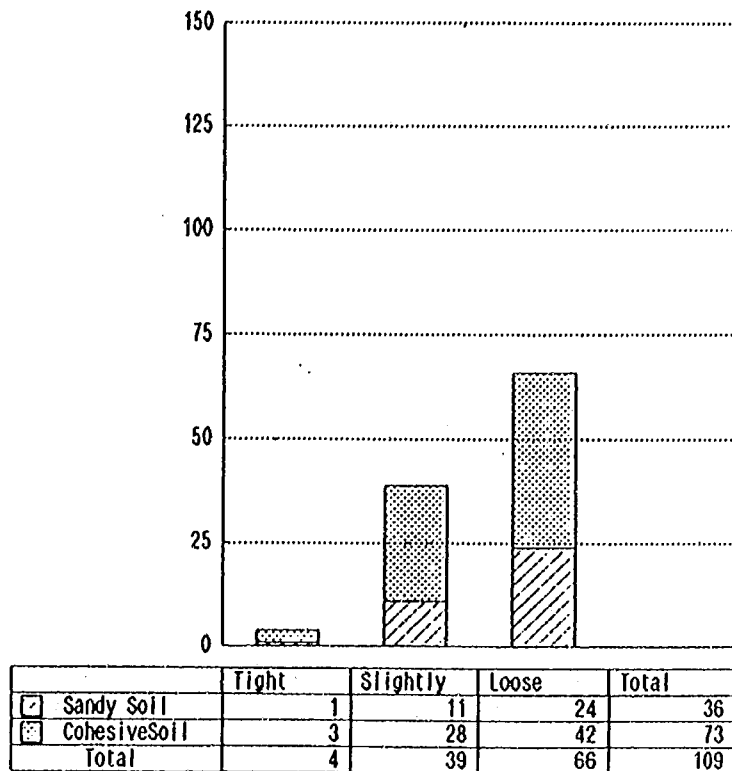


図-2.20 砂質土・粘性土の締めり程度

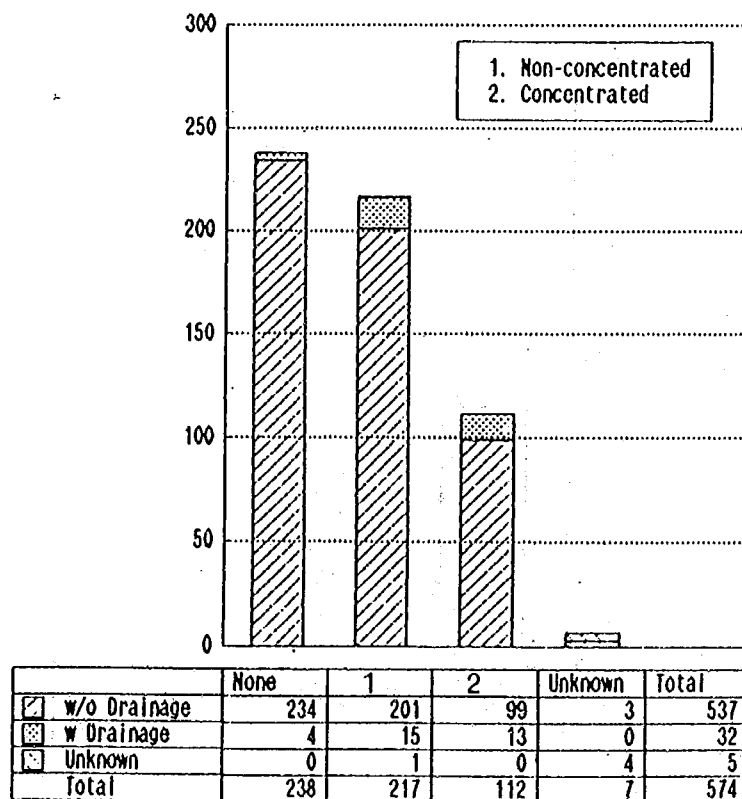


図-2.21 地表水の状態

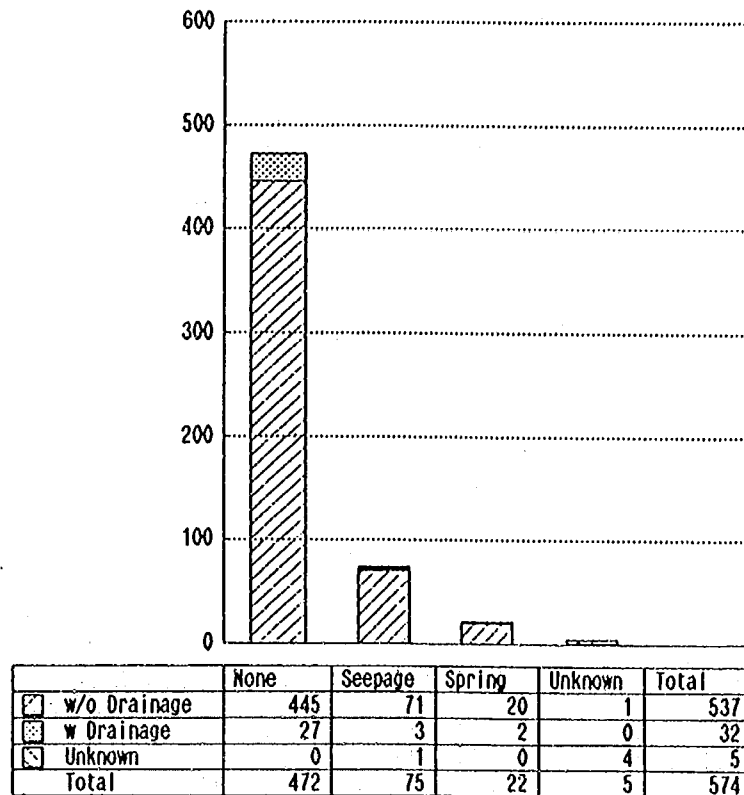


図-2.22 地下水の状態

(11) 予想される崩壊形態

切土法面では、降雨の影響を直接受けやすい「浅い崩壊」が最も多く、次いで亀裂からの「落石」（基盤岩は硬岩）、「深い崩壊」となっている。

自然斜面では「土石流」が、そして盛土法面では「深い崩壊」が最も多い。（図-2.23）

(12) 災害発生の可能性

災害が発生する可能性の高い法面は全体の約45%にのぼり、調査対象法面のほぼ半分に崩壊の危険性がある。（図-2.24）

(13) 道路への影響

災害が発生した場合の道路交通に与える影響を「大きい」、「中程度」、「小さい」の3段階に分けて評価した。（図-2.25）

その結果、災害により道路が部分的に通行止めになると推測される法面（評価：「中程度」）が最も多く、全体の約半分を占めている。全体の中に占める割合は小さいが、全面的に通行止めとなる可能性のある法面（評価：「大きい」）が15%あり、早急な対策工施設が求められる。

区間別にみると対象法面の多い区間（M-6, B-1, B-2, B-3）で「大きい」、「中程度」の占める割合が大きく、特にケノン道路（B-1）では4分の1近くが「大きい」と評価されている。

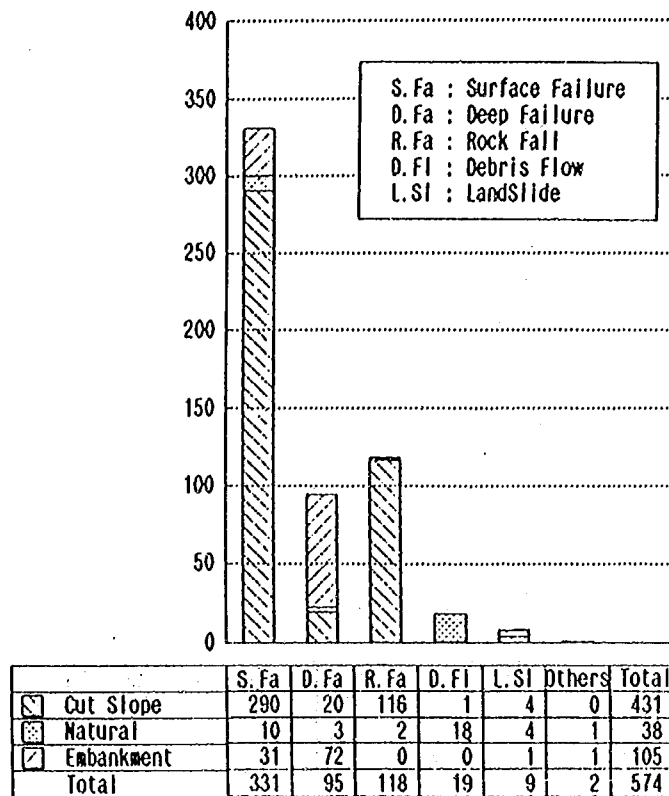


図-2.23 予想される崩壊形態

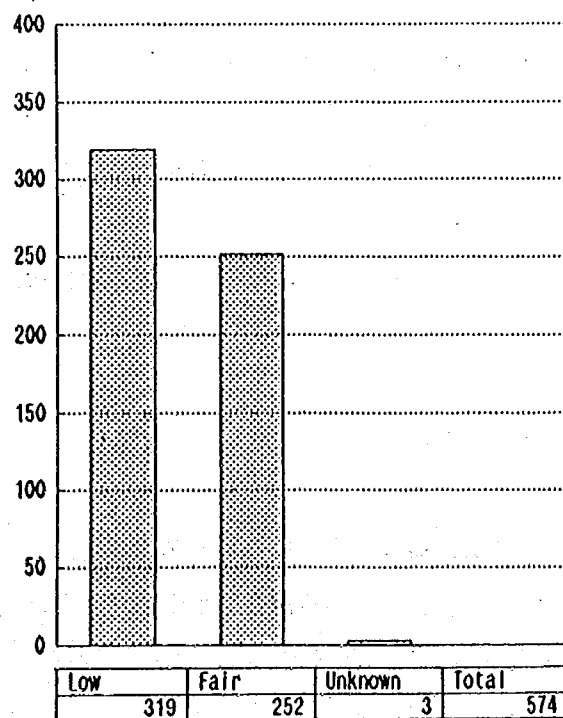


図-2.24 災害発生の可能性

2)被災状況（全区間の集計）

調査期間中（昭和59年10月～昭和61年9月）に対象法面で延べ 355回の災害が記録されている。被災法面については調査標（OBSERVATION RECORD ON DISASTER SLOPE）が作成されており、その調査項目ごとの集計を行った。

（1）区間別災害発生数

図-2.26に区間別災害発生数を、表-2.2に区間別災害発生率を示す。

災害発生数では日比友好道路M-6区間が最も多く、次いでバギオ周辺の3路線となっている。

発生率ではケノン道路（B-1）が最も高く、102の対象法面において延べ82回の災害が発生している。

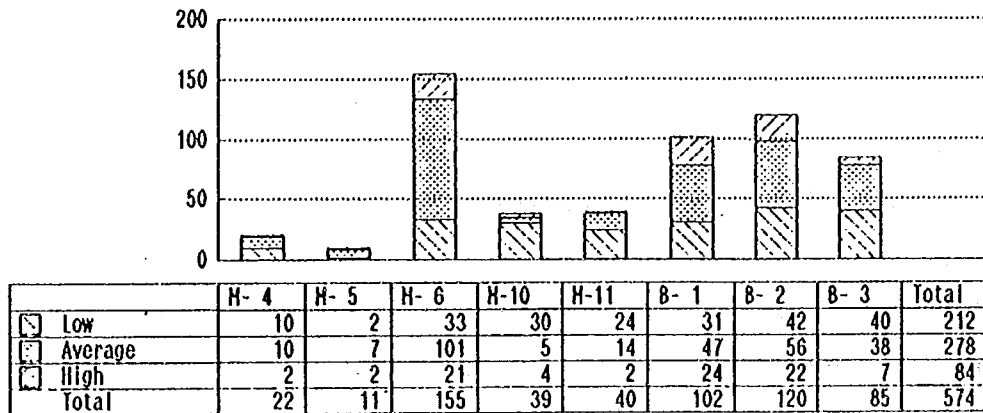


図-2.25 災害発生による道路への影響

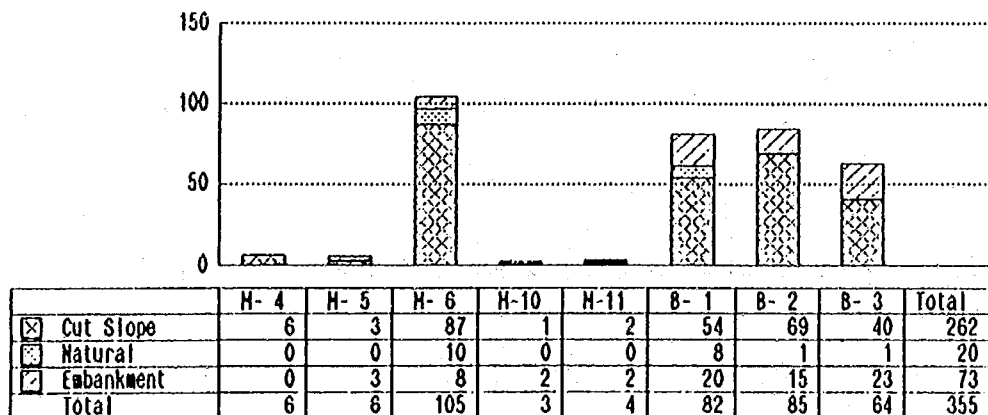


図-2.26 区間別災害発生数

表-2.2 災害発生率 (災害発生数/対象法面数)

	H- 4	H- 5	H- 6	H-10	H-11	B- 1	B- 2	B- 3	合計
災害発生数	6	6	105	3	4	82	85	64	355
対象法面数	22	11	155	39	40	102	120	85	574
発生率	0.27	0.55	0.68	0.08	0.10	0.80	0.71	0.75	0.62

また、アゴー・バキオ道路 (B-2)、ナギリアン道路 (B-3) の発生率も高く、これらバギオ周辺の3本のルートではいずれも70%を越えている。一方、日比友好道路の各区间ではM-6区間の発生率が高いが、ルソン島南部のM-10、11区間は、被災数、被災率ともに少ない。これはこの区間が他の区間と比べて地形が平坦であること、調査期間中に大きな台風の襲来が少なかったためと考えられる。

法面の種類では切土法面での災害が多く、全体の74%を占めている。特に、M-4、M-6、B-2区間では災害の80%以上が切土法面で発生している。また、盛土法面の崩壊は、バギオ周辺の3路線で多く発生している。中でもナギリアン道路 (B-3) では被災が記録された法面の3分の1以上が盛土である。自然斜面での崩壊は全体として少ないが、M-6区間およびB-1区間に集中している。

(2) 災害の種類

災害の種類を図-2.27に示す。

切土法面で発生した災害の75%は「浅い崩壊」であった。「落石」の占める割合は全体では17%にすぎないが、ケノン道路では33%を占めている。自然斜面での崩壊はその7割が「土石流」であり、他には表層の崩壊が多少みられた。一方、盛土法面ではほとんどが「深い崩壊」である。

(3) 崩壊の規模

規模が記録されている崩壊の半数以上は崩壊土量が50m³以下の小規模なものであった。しかしながら、1,000m³を越える大規模な崩壊も18回記録されている。(図-2.28)

(4) 法面保護の状況

被災した法面の被災前の状況は、切土法面や自然斜面においては草や灌木などの自然植生で覆われていたものが最も多く、次いで裸地、構造物の順になっている。一方、盛土法面の場合は構造物が最も多い。(図-2.29)

(5) 法面災害による交通途絶と交通事故

法面災害による交通途絶の有無を図-2.30に、交通事故の有無を、図-2.31に示す。また、災害発生時の降雨を図-2.32に示す。

1986年7月の台風でケノン道路では52件の法面災害が発生し交通が長期にわたって途絶したが、交通途絶の主たる原因は橋梁の流失であったため、個々の法面崩壊が何日の交通途絶を引き起こしたのか明らかではない。また、谷側斜面の崩壊で片側車線が通行不可能な場合でも、長時間放置されていることもあり、これらの理由で途絶期間が不明なものが多くなっている。

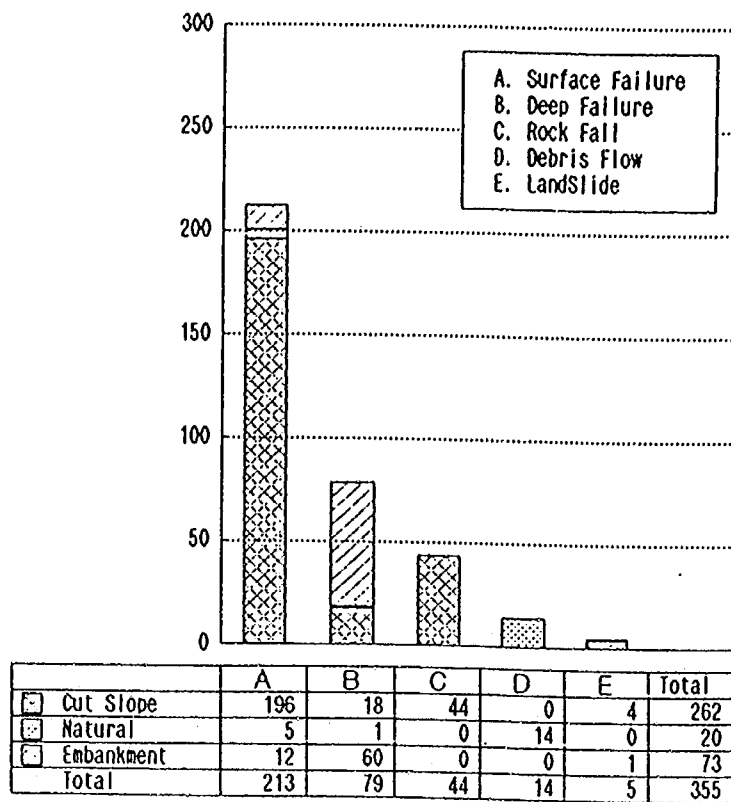


図-2.27 発生した災害の形態

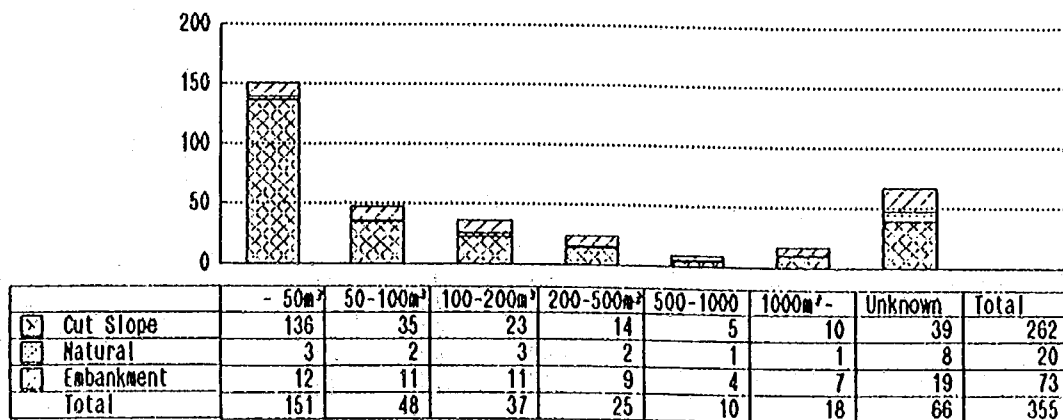


図-2.28 崩壊の規模

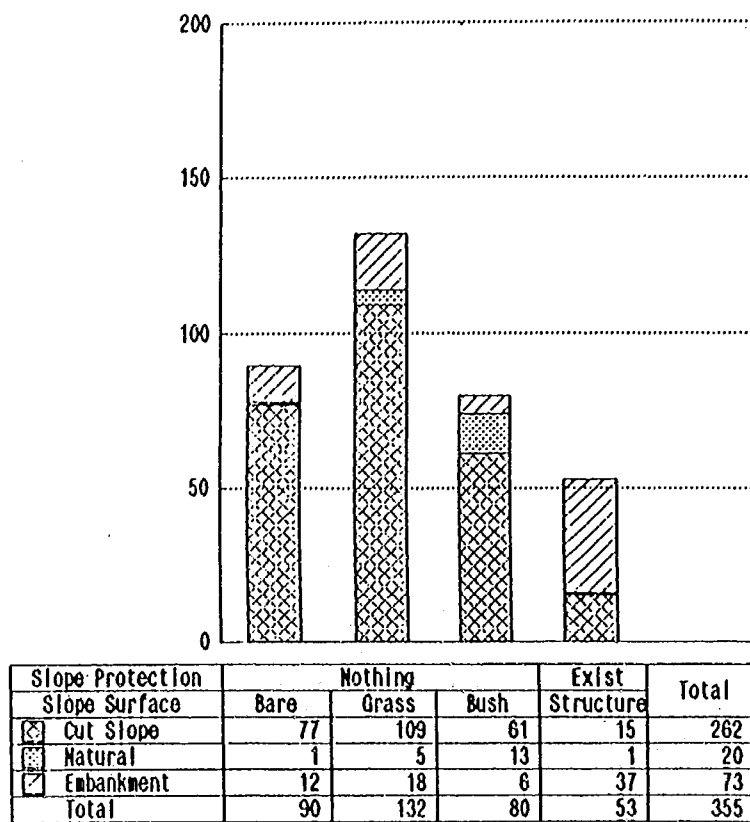


図-2.29 法面保護の状況

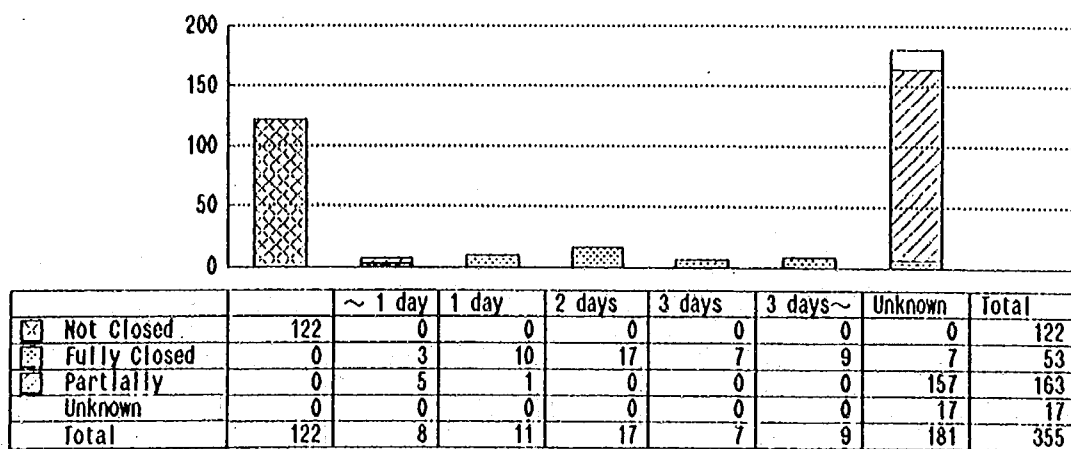


図-2.30 法面災害による交通途絶

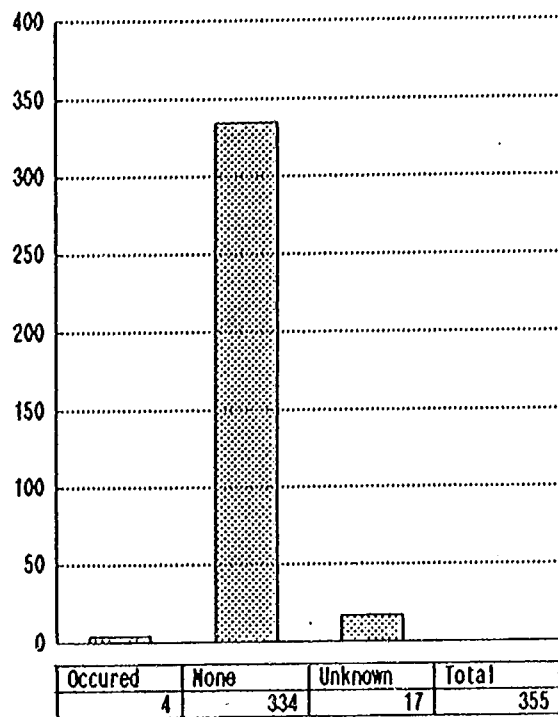


図-2.31 法面災害による交通事故

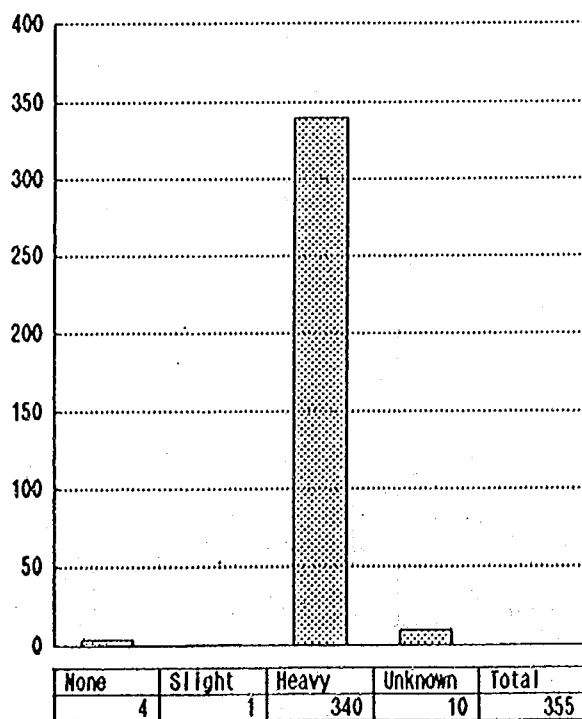


図-2.32 災害発生時の降雨

(6) 復旧工法

図-2.33に被災時の復旧方法を示す。

切土法面崩壊に対して採られた復旧工法の大半は排土であり、法面の切り直しや構造物による保護などの抜本的な対策を行っているところはほとんどない。

盛土法面では大きな交通障害がない場合は長期間放置しておくことが多い。石積みによる補修を行っているところもあるが、排水施設まで整えているところは少なく、その後の降雨によってふたたび崩壊を起すケースも少なくない。

(7) 崩壊の原因

現地調査において、崩壊形状、地形・地質、地表水や地下水の状態などから判断して推定した崩壊の原因を集計したものを図-2.34に示す。法面の種類を問わず地表水の集中が崩壊の原因として最も多く推定されている。切土法面では、このほかに風化、および地表水の集中と風化との組み合わせが推定されている。

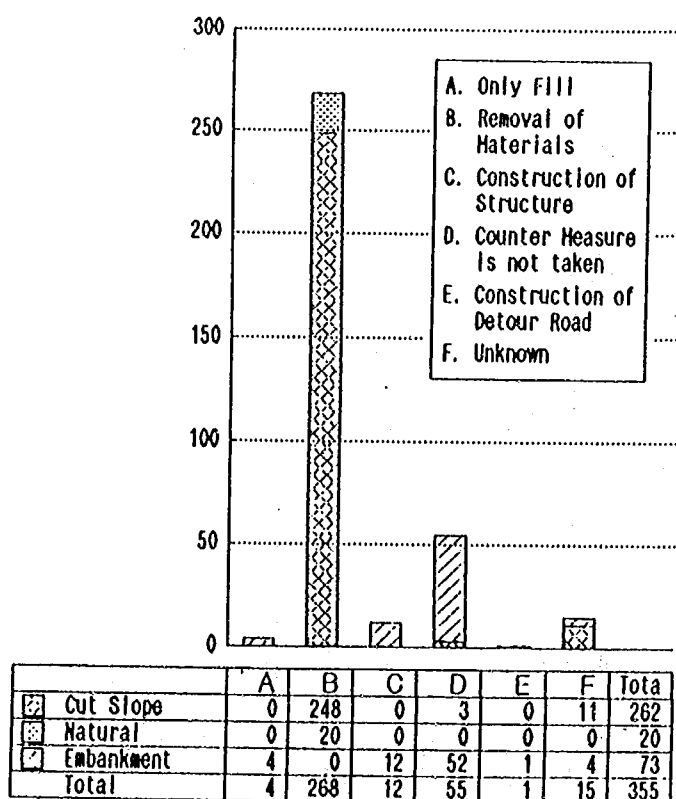


図-2.33 採用された対策

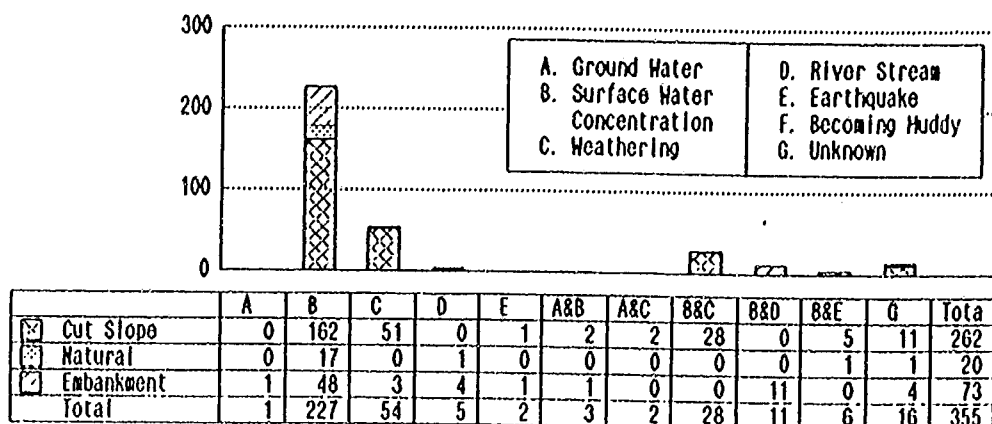


図-2.34 崩壊の原因

2) 調査対象区間ごとの集計

全調査対象法面についての集計結果は既に述べたが、同様の集計を対象区間別についても行った。これより判明した各区間の法面がもつ特徴を表-2.3にまとめた。

表に示したカテゴリーは、それぞれの要因に対して各区間で最も頻度の高いカテゴリーである。これによると、法面の規模のうち高さでは各区間とも10m～30mのものが多く、M-11とB-3区間では10m以下の低い法面も多い。また、勾配はM-10区間を除いて60°以上の急な法面が最多頻度をもっている。法面の平面形状、断面形状は区間によって頻度に違いをみせているが、いずれの区間でも小段のある法面は少ない。

法面の現状では南の区間M-10、11とM-4の法面は比較的浸食を受けておらず、他の区間では激しく浸食を受けた法面が多い。自然植生で覆われた法面が多いが、比較的新しい道路であるB-2や新しく建設されたバイパス区間を含むM-10区間では裸地もみられる。

地質構成はどの区間も軟岩で構成された法面が多い。基盤岩の種類は区間によって特徴をみせているが、強風化を受け亀裂の発達しているものが多い。亀裂の方向は不規則なものが多いが、M-4、B-2、3区間では流れ盤も比較的多くみられる。礫混じり土の礫径は、M-10区間で30cm以上の大きなものが主体であるのを除けば、他の区間では30cm以下の小さなものが多い。また、礫形はM-4およびM-10で円礫もみられるが、全ての区間で角礫が多くなっている。礫混じり土、砂質土、粘性土を問わず締めり程度は中程度または緩くなっており、堅く締まった土砂で構成された法面は全区間を通して非常に少ない。

地表水はM-10、11およびB-3区間ではあまり観察されていない。他の区間のうちM-6区間では地表水が集中している法面が多く見られるが、それ以外の区間では集中している法面は少ない。全般的に地下水が観察される法面の数は少ないがB-1区間では浸透水のみられる法面が比較的多い。排水施設のある法面はどの区間でも非常に少ない。

予想される崩壊タイプは、全ての区間で浅い崩壊が多くなっており、M-10、B-1、B-2区間では落石も多く予想されている。

表-2.3 各区間の法面がもつ特徴

区 間		法面の種類	法 面 の 規 模		法 面 の 形 状				法 面 の 現 状			法 面 の 地 盤 状 況										水 の 状 態			予 想 さ れ る 災 害		
												岩 盤					土 砂										
区間名	地 名		法面の高さ	法面の勾配	法面の傾斜方向	平面形状	横断形状	小段	浸 蝕	法面保護工	植 生	地 質	基 盤 岩	風 化	亀 裂	亀裂の方向	砂礫土の締り程度	礫の大きさ	礫の形状	土砂の締り程度	地表水	地下水	排水施設	崩壊のタイプ	可能性	道路への影響	
M-4	Santiago ~Baguag	切 土 斜 面	10~30 m	45~60 ~45 60~90	SE~SW	谷 型	凹型, 凸型	無し	普通~弱い	自然植生	草, 裸地	軟 岩	砂岩, 頁岩	強風化	多 い	不規則, 流れ盤	普 通	7~30 cm	角 礫, 円 礫	普通~脆弱	非集中	無し	無し	無し	浅い崩壊	低 い	小~中
M-5	Baguag ~Aritao	切土, 盛土	10~30	60~90	S~SW	谷, 尾根, 直 線	凸型, 直線	無し	強い~普通	自然植生	裸 地	軟 岩	凝灰岩, 安山岩	強風化	多 い	不規則	普 通	7~30	角礫	普通~脆弱	無し, 非集中	無し	無し	無し	浅い崩壊	高 い	中
M-6	Aritao ~Sanjose	切 土	10~30	45~60 60~90	SE~SW	谷 型	直 線	無し	普通~強い	自然植生	草, 裸地	軟岩, 砂礫	輝緑岩	強風化	多 い	不規則	脆 い	7~30	角礫	脆 い	非集中 ~集中	無し	無し	無し	浅い崩壊	高 い	中
M-10	Lucena ~Calauag	切 土	10~30	45~60	NE~NW	尾 根	直線, 凸型	無し	弱 い	自然植生, 裸 地	灌木, 裸地	軟岩, 土砂/軟岩	砂岩, 凝灰岩	強風化	多 い	不規則	普 通	30~7	角 礫, 円 礫	脆弱~普通	無し	無し	無し	浅い崩壊, 落 石	低 い	小	
M-11	Calauag ~Daet	切土, 盛土	~10, 10~30	~45 60~90	SE~SW	尾 根	凸 型	無し	普通~弱い	自然植生	草	軟岩, 砂礫	凝灰角礫岩 砂 岩	強風化	多 い	不規則	脆 い	7~30	角礫	脆 弱	無し	無し	無し	浅い崩壊	低 い	小, 中	
B-1	Kennon Road	切 土	10~30	60~90	NW	直線, 尾根	凸型, 直線	無し	普 通	自然植生	裸 地	軟岩, 硬岩, 砂礫	閃緑岩, 礫岩	強風化	多 い	不規則	脆 い	7~30	角礫	脆 弱	無し, 非集中	無し, しみ 出し	無し	落 石, 浅い崩壊	低い, 高い	中, 小	
B-2	Agoo ~Baguio Road	切 土	10~30	60~90	N-NE SW-NW	谷 型	凸型, 凹型	無し	普通~強い	裸地, 植生	裸地, 草	軟 岩	砂岩, 礫岩	強風化	多 い	不規則, 流れ盤	脆 い	7~30	角礫	脆弱~普通	非集中	無し	無し	無し	浅い崩壊, 落 石	高 い	中, 小
B-3	Naguilian Road	切土, 盛土	~10, 10~30	45~60 60~90	SE~SW	直線, 尾根	凸 型	無し	強 い	植 生	草, 裸地	軟 岩	砂岩, 頁岩, 礫岩	強風化	多 い	不規則, 流れ盤	脆 い	7~30	角礫	脆 弱	無し	無し	無し	浅い崩壊	低 い	小, 中	

2.2 モデル法面の詳細調査

法面実態調査の結果から調査対象区間ごとに発生した災害の主な特徴は、次のようなものである。

- (1) M-6区間では切土法面の浅い崩壊
- (2) B-1区間では落石
- (3) B-2区間では切土法面の深い崩壊
- (4) B-3区間では盛土法面の崩壊

以上の災害形態に従って、各区間において代表されると考えられる法面を選んで詳細調査を実施した。各区間の調査地点は表-2.4のとおりであるが、B-1区間においてはバギオ市近くの地すべり地を追加した。図-2.35に詳細調査地点を示す。

表-2.4 詳細調査の地点

調査区間	SPOT. No.	KM. POST	備 考
M-6	Ⅲ-55	196 + 050	切土崩壊
	Ⅲ-72-1	205 + 000	"
	Ⅲ-27	187 + 200	落 石
B-1	IK-49	247 + 800	地すべり
	IK-13	229 + 600	落 石
	IK-28~29	236 + 650 ~ 950	"
	IK-36	237 + 800	"
	IK-39	240 + 100	"
B-2	IM-8-2	259 + 200	切土崩壊
	IM-23	266 + 100	"
	IM-75	279 + 300	"
B-3	IN-15-6	297 + 100	盛土崩壊

2.2.1 調査方法

詳細調査のために実施した調査方法は次のとおりである。

- (1) 簡易貫入試験
- (2) 簡易弾性波試験
- (3) 土質試験
- (4) 岩石試験
- (5) 測量

なお、各詳細地点における調査項目を表-2.5に示す。

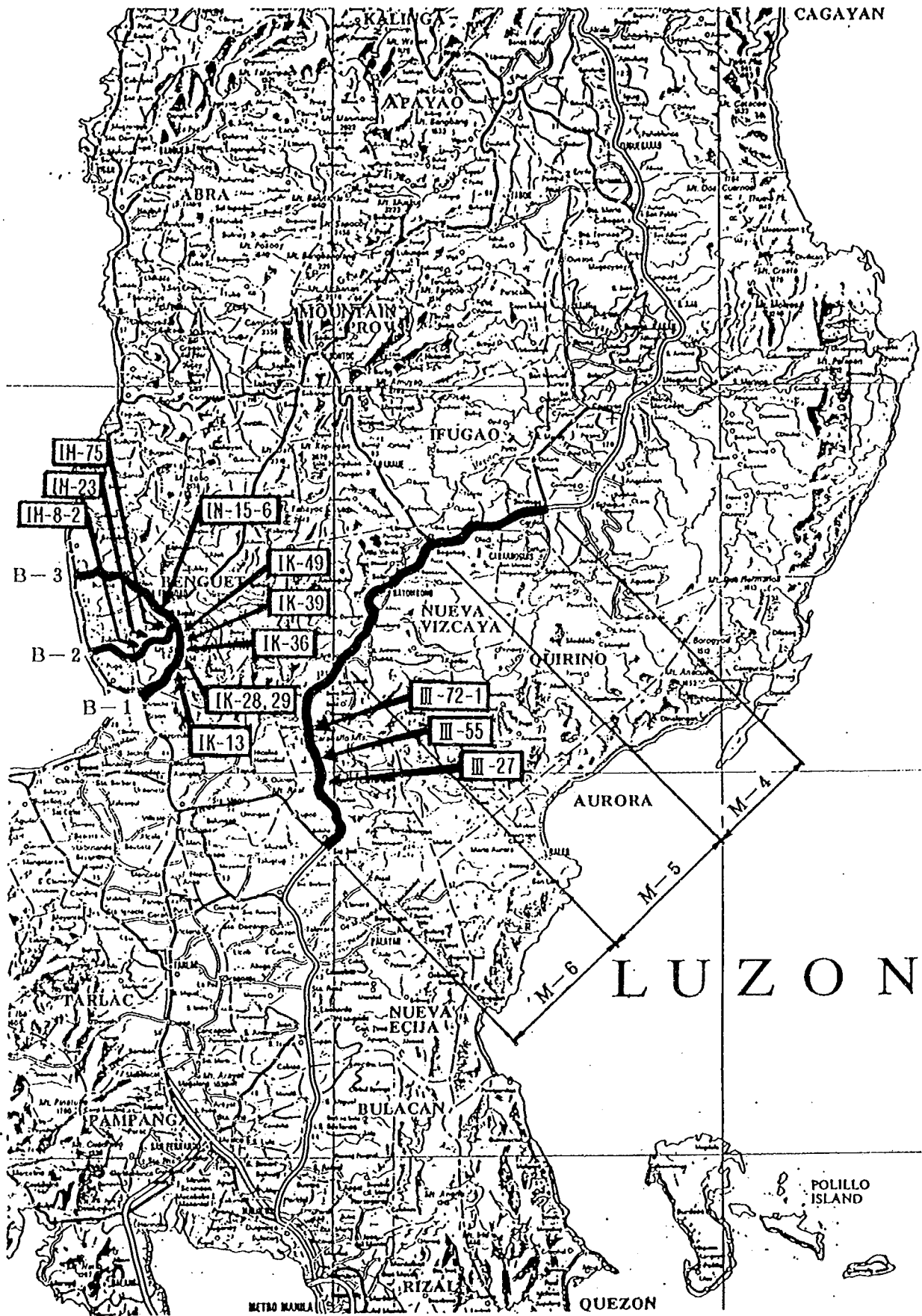


図-2.35 詳細調査地点位置図

表-2.5 各地点別調査項目一覧表

SECTION	SPOT. No	KM. POST	貫入試験	弾性波 試験	土質試験	岩石試験
M-6	Ⅲ-55	196 + 050	○			
	Ⅲ-72-1	205 + 000	○	○	○	○
	Ⅲ-27	187 + 200		○		
B-1	IK-49	247 + 800	○		○	
	IK-13	229 + 600		○		
	IK-28~29	236 + 650 ~ 950		○		○
	IK-36	237 + 800		○		
	IK-39	240 + 100		○		
B-2	IM-8-2	259 + 200	○	○	○	○
	IM-23	266 + 100	○	○		○
	IM-75	279 + 300	○			
B-3	IN-15-6	297 + 100	○		○	

2.2.2 調査結果

1) M-6区間の災害

(1) km196+050の切土崩壊

①地形および地質

この地点は高さ約25mの法肩後背地から崩壊をおこしている。地形は道路に並行になだらかな傾斜をなしている。崩壊は幅約30m、長さ約40m、崩壊斜面の傾斜は約40°で滑落崖の深さは約5mである。写-2.1に被災状況を示す。

崩壊法面は火山砕屑岩の強風化された礫が多く堆積しているが、長年の降雨によって崩積土は浸食を受け表面の起伏ははげしい。

②調査方法ならびに結果

調査は簡易貫入試験のみを実施した。貫入試験は滑落崖近くと斜面ほぼ中央部について行った。

上部では1.0mまでは $N_c < 5$ であったが1.3m以降は貫入不能になった。

中央部では、2.5mまでは $N_c < 5$ であり、3.2mで貫入不能になった。2.5~3.2mまでは N_c の値にばらつきが多い。位置を5.0m移動した結果では $N_c < 5$ は1.0mまでで、3.5mまでの貫入では $N_c = 10$ 前後であった。

これらの結果から、火山砕屑岩の弱風化層は中央部では約3.0mの深さに存在するが、上方では深い位置に存在すると考えられる。基盤までの地層は火山砕屑岩の強風化層で土砂化してすべりはその中で発生していると思われる。図-2.36に推定断面図を示す。

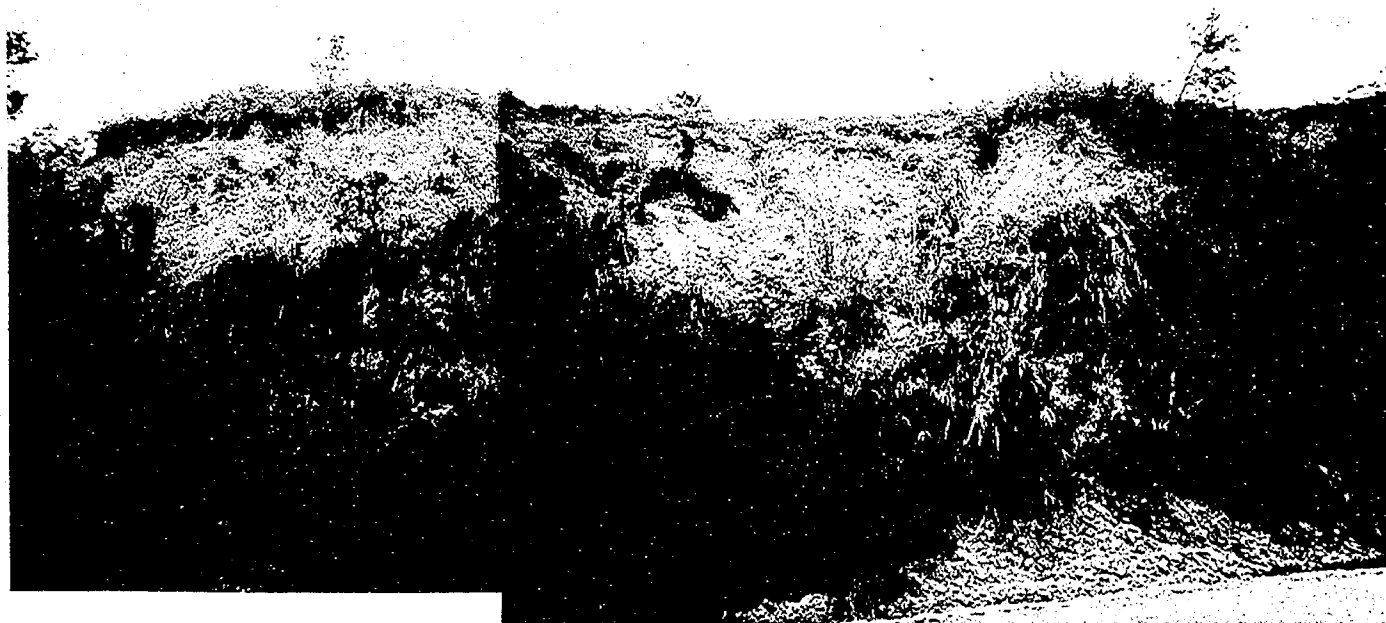


写真-2.1 強風化火山碎屑岩の浅い崩壊

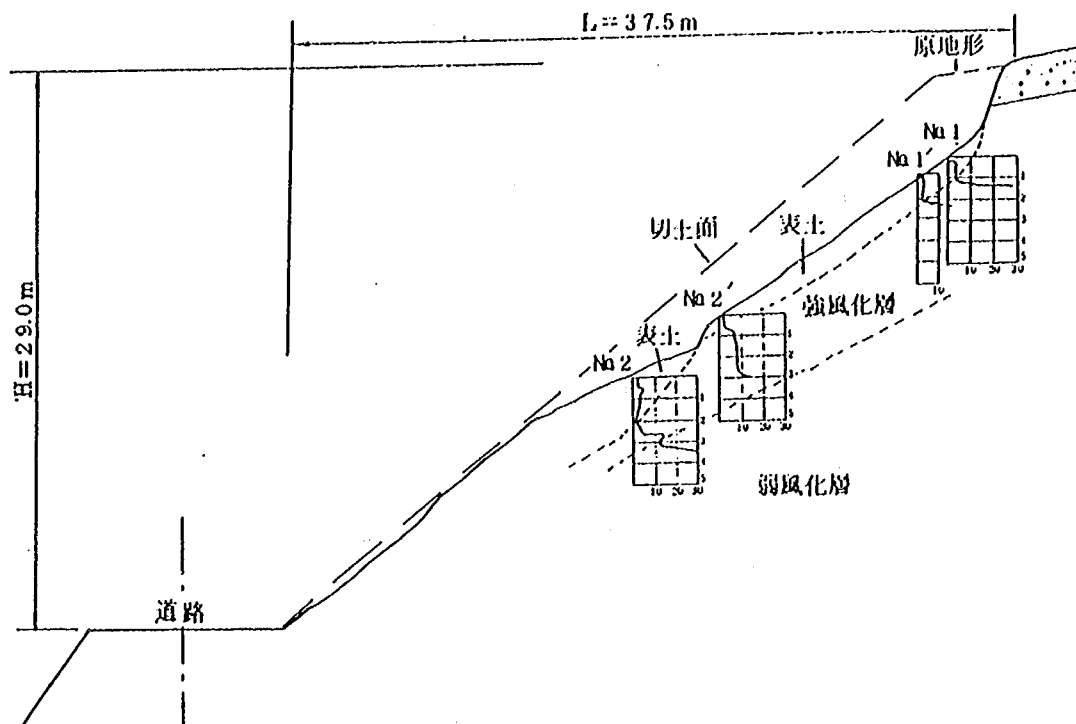


図-2.36 NORTH MANILA M-6 km196+050

(2) km205+000の切土崩壊

①地形および地質

本地点の崩壊は高さ約15m、勾配約45°の切土法面で発生した(写-2.2)。横断地形は直線型である。崩壊は道路から法面長約40mの後背地から発生し勾配は約35°である。後背地から生じた滑落崖の高さは約3m、幅約15mである。

崩壊地周辺を構成している地質は、熱水変質を受けたモンモリロナイトを含有している輝緑岩である。法面は粘土化した強風化岩であり、これを覆って崖錐堆積物が発達している。崩壊をおこした部分は主として崖錐堆積物で法面下方は比較的堅硬な岩である。

②調査方法ならびに結果

調査は簡易貫入試験、弾性波試験、土質試験ならびに岩石X線回折を行った。

貫入試験は滑落崖下方付近と斜面下方で行い、上部では2mまでが $N_c < 10$ であったが3.0mで貫入不能になった。法面下方の貫入試験結果では $N_c = 25 \sim 55$ とばらつきが多く1.1mで貫入不能になった。3.0mまでのばらつきの大きい層は上部の中間層と同一のものと思われる。

弾性波試験は、基盤の弱風化岩で行ったが、速度は400~600m/sである。

土質試験は強風化層より採取した資料で行った。試験結果を図-2.37に、推定断面図を図-2.38に示す。

GEOTECHNICS PHILS. INC.

GEOTECHNICS PHILS. INC.

Location :
Borehole No. 2051000
Description Brownish olive silty CLAY

Date 9-20-66
Depth
Sample No. M-8

UNCONFINED COMPRESSION TEST

MODE OF FAILURE

Specimen dimensions:
 $q_u = 0.5951 \text{ kg/cm}^2$
 $l/d = 2.01$
 $W_d = 22.92 \text{ g}$
 $W_d / W_m = 2.04$

Axial Strain (%)	Compressive Stress (kg/cm²)
0	0.00
10	0.15
20	0.25
30	0.35
40	0.45
50	0.52
60	0.58
70	0.62
80	0.64
90	0.65
100	0.64
110	0.63
120	0.62

GRAIN SIZE DISTRIBUTION

PERCENT FINER

DIAMETER (mm)

G4 - 265

GRAVEL			SAND			SILT			CLAY
COARSE	MEDIUM	FINE	COARSE	MEDIUM	FINE	COARSE	MEDIUM	FINE	
75	60	47.5	47.5	30	15	15	75	47.5	15
60	47.5	30	30	15	7.5	7.5	47.5	30	15
47.5	30	15	15	7.5	3.75	3.75	30	15	7.5
30	15	7.5	7.5	3.75	1.9	1.9	15	7.5	3.75
15	7.5	3.75	3.75	1.9	0.85	0.85	7.5	3.75	1.9
7.5	3.75	1.9	1.9	0.85	0.425	0.425	3.75	1.9	0.85
3.75	1.9	0.85	0.85	0.425	0.25	0.25	1.9	0.85	0.425
1.9	0.85	0.425	0.425	0.25	0.15	0.15	0.85	0.425	0.25
0.85	0.425	0.25	0.25	0.15	0.075	0.075	0.425	0.25	0.15
0.425	0.25	0.15	0.15	0.075	0.0475	0.0475	0.25	0.15	0.075
0.25	0.15	0.075	0.075	0.0475	0.025	0.025	0.15	0.075	0.0475
0.15	0.075	0.0475	0.0475	0.025	0.015	0.015	0.075	0.0475	0.025
0.075	0.0475	0.025	0.025	0.015	0.0075	0.0075	0.0475	0.025	0.015
0.0475	0.025	0.015	0.015	0.0075	0.00475	0.00475	0.025	0.015	0.0075
0.025	0.015	0.0075	0.0075	0.00475	0.0025	0.0025	0.015	0.0075	0.00475
0.015	0.0075	0.00475	0.00475	0.0025	0.0015	0.0015	0.0075	0.00475	0.0025
0.0075	0.00475	0.0025	0.0025	0.0015	0.00075	0.00075	0.00475	0.0025	0.0015
0.00475	0.0025	0.0015	0.0015	0.00075	0.000475	0.000475	0.0025	0.0015	0.00075
0.0025	0.0015	0.00075	0.00075	0.000475	0.00025	0.00025	0.0015	0.00075	0.000475
0.0015	0.00075	0.000475	0.000475	0.00025	0.00015	0.00015	0.00075	0.000475	0.00025
0.00075	0.000475	0.00025	0.00025	0.00015	0.000075	0.000075	0.000475	0.00025	0.00015
0.000475	0.00025	0.00015	0.00015	0.000075	0.0000475	0.0000475	0.00025	0.00015	0.000075
0.00025	0.00015	0.000075	0.000075	0.0000475	0.000025	0.000025	0.00015	0.000075	0.0000475
0.00015	0.000075	0.0000475	0.0000475	0.000025	0.000015	0.000015	0.000075	0.0000475	0.000025
0.000075	0.0000475	0.000025	0.000025	0.000015	0.0000075	0.0000075	0.0000475	0.000025	0.000015
0.0000475	0.000025	0.000015	0.000015	0.0000075	0.00000475	0.00000475	0.000025	0.000015	0.0000075
0.000025	0.000015	0.0000075	0.0000075	0.00000475	0.0000025	0.0000025	0.000015	0.0000075	0.00000475
0.000015	0.0000075	0.00000475	0.00000475	0.0000025	0.0000015	0.0000015	0.0000075	0.00000475	0.0000025
0.0000075	0.00000475	0.0000025	0.0000025	0.0000015	0.00000075	0.00000075	0.00000475	0.0000025	0.0000015
0.00000475	0.0000025	0.0000015	0.0000015	0.00000075	0.000000475	0.000000475	0.0000025	0.000001	

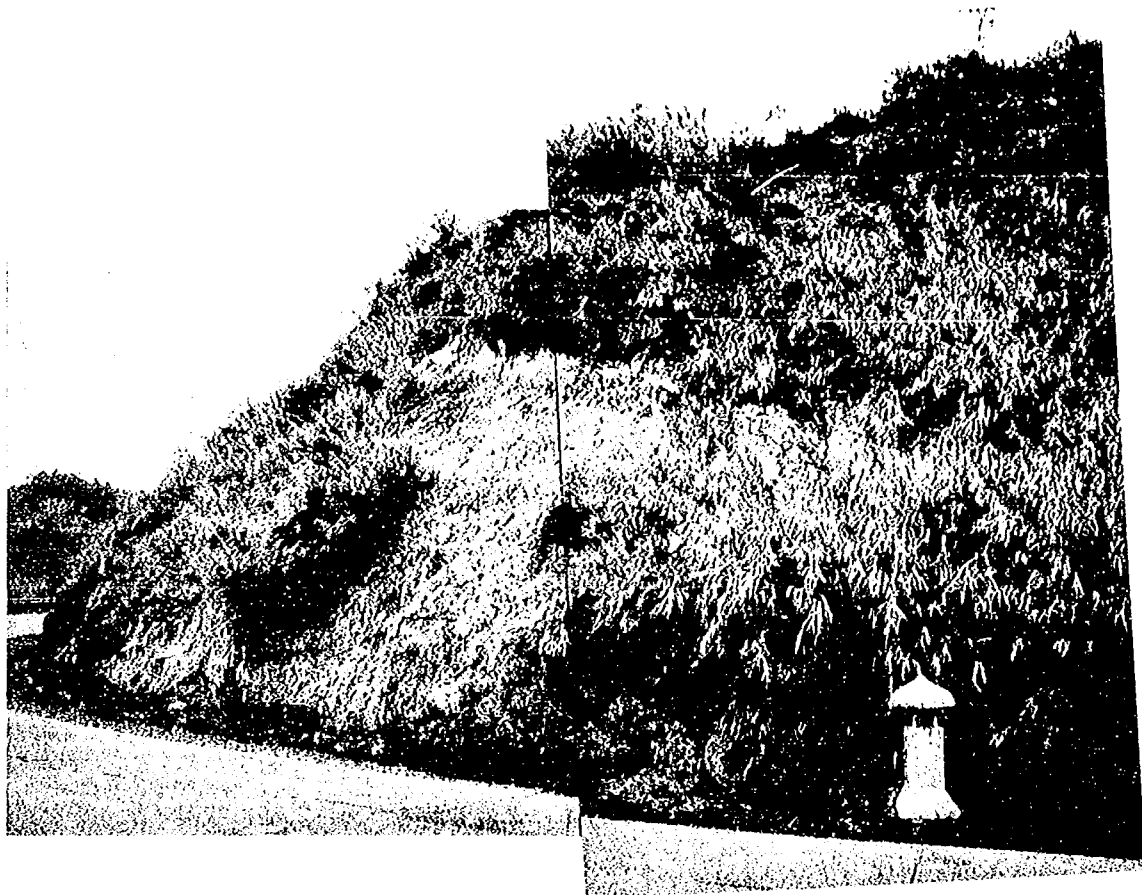


写真-2.2 強風化輝緑岩の浅い崩壊

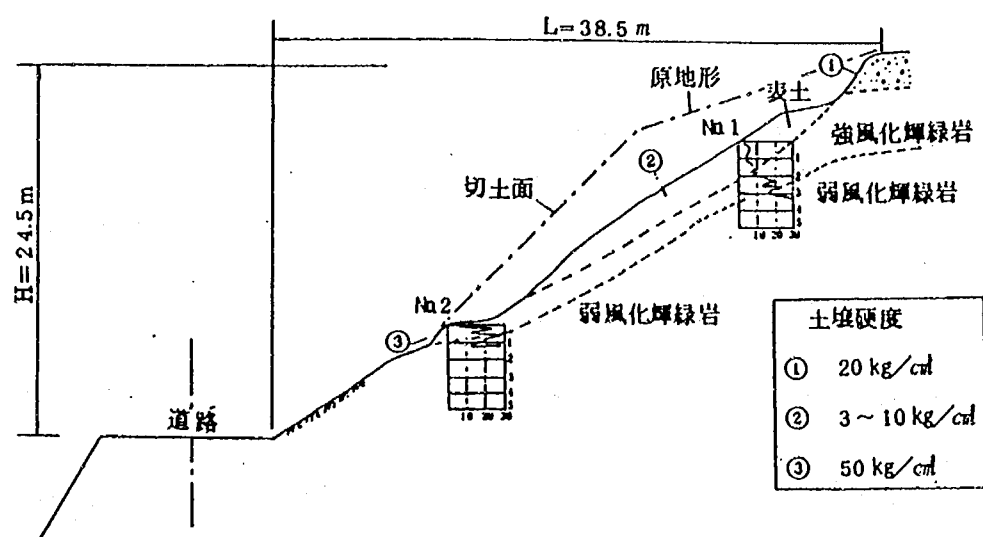


図-2.38 NORTH MANILA M-6 km 205+000

(3) km187+200の落石

調査地は高さ25m、勾配約55° 幅約100mの尾根型地形を切土した箇所で安山岩質角礫凝灰岩の露岩である。

斜面中央部から上部にかけて、かつて落石したと思われる長さ約7mのクサビ状の形跡が認められるが、近年、災害は発生していない。立ち木は育成しておらず、斜面中央部にわずかに雑草が存在する程度で、岩盤には大きな亀裂が数本ある。写-2.3に切土法面の全景を示す。

一見、堅硬な岩盤に見えるが小さな亀裂が1~2cm間隔で多数存在していてハンマーで打撃すると鈍い音がはねかえる。

弾性波試験結果は600~1,200m/sで、良質な安山岩質凝灰岩の速度2,800~3,000m/sと比較すると相当風化が進行していると思われるが、大きな亀裂の存在は少なく、今後起りうる崩壊としては風化による表面はく離が主で、大崩壊が起る可能性は少ないと思われる。

2) B-1区間の災害

(1) km247+800の地すべり

①地形および地質

当地点はバギオ市の中心から南方5kmの古くから地すべり現象をおこしている区域である。

当該地域の地すべりは3ブロックに分かれ、Aブロックは沢状の凹地部で発生したもので規模は幅約18m、長さ36m、勾配は約15°で頭部滑落崖の落差は1~3mである。図-2.39に状況スケッチを、写-2.4にB、Cブロック間の段差の状況を示す。

B、CブロックはAブロックから約15m離れたほぼ直線型地形に発生し、Bブロックの幅は約70m、長さ約45m、勾配は20°で滑落崖の落差は約1mである。Cブロックは幅約15m、長さ約27m、勾配は26°で滑落崖の落差は0.5mであり、中央部には湧水箇所がある。

地質は安山岩質角礫岩からなり、上部はシルト質粘土やシルト質砂および小礫に覆われている。

②調査方法ならびに結果

調査には簡易貫入試験と土質試験を実施した。

Aブロックでは崩積土と滑落崖上方の未変動地域の2ヶ所で行い、Bブロックでは崩積土で2ヶ所、上方の未変動地域で1ヶ所の計3ヶ所で行った。また、Cブロックでは崩積土で1ヶ所である。また、土質試験用試料はBブロックの崩積土で採取した。

Aブロックの結果は、崩積土では0~0.9mまで $N_c < 5$ 、0.9~4.4mまでは $N_c = 5 \sim 10$ であり、4.4mで貫入不能になり基盤と考えられる。未変動地点では4.3mまで貫入したが $N_c = 5$ 前後で粘性土と思われる。

Bブロックでは斜面中央部の崩積土は4.0mで貫入不能になった。0~2.7mは $N_c = 5$ 前後であったが、2.7~4.0mは $N_c = 10$ 前後であった。斜面末端部では0~3.0mは $N_c = 5$ 前後で3.0~4.0mは徐々に N_c は増加し4.0m以深は $N_c > 20$ であったが、基盤と思われる層は確認されなかった。また、未変動地域では2.7mまでは $N_c = 5$ 前後で、以深は同じく徐々に N_c は増加し3.5m以深は $N_c = 20$ 以上で、基盤層は

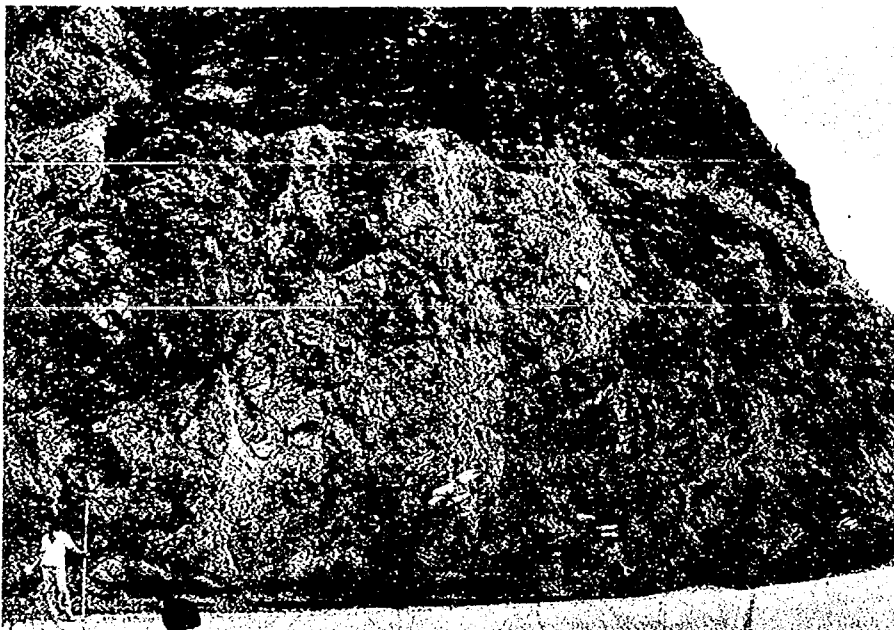


写真-2.3 安山岩質角礫凝灰岩の切土斜面



写真-2.4 (B)(C) B, Cブロック間の段差

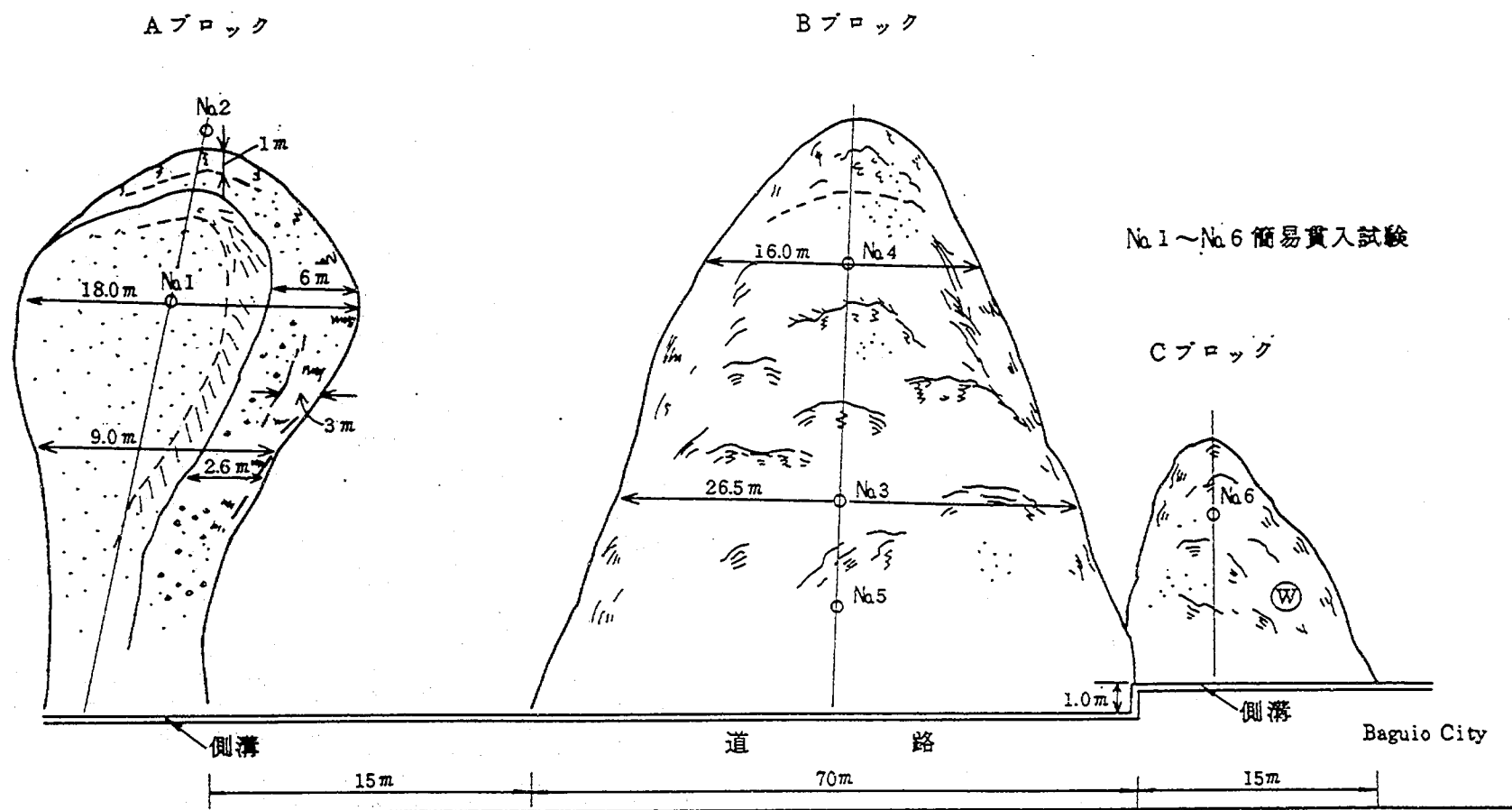


図-2.39 地すべり状況のスケッチ

確認されなかった。

Cブロックの崩積土は0～1.5mが $N_c < 5$ で、1.5m以深は N_c が急激に増加し、3.0m以深では20以上となっている。

土質試験結果では80%がシルト、粘土分である。

③考察

貫入試験の値から $N_c > 30$ は基盤、 $N_c = 5 \sim 10$ は地すべり土塊と思われる。すべり面は基盤である安山岩質角礫岩と崩積土との境界面に存在すると推定され、その深さは4～4.5mである。

崩積土の土質定数は

$$C = 0.4 \sim 0.45 \text{ t/m}^2$$

$$\phi = 11 \sim 25^\circ$$

と推定される。

図-2.40～図-2.42に各ブロックの推定断面図を示す。

(2) B-1区間の落石および崩壊

1985年の調査結果でB-1区間（ケノン道路）は落石多発地帯と報告されているため、同道路で地質の異なる代表的な落石箇所を4ヵ所選定し簡易弾性波試験を行った。

①km229+600付近の砂岩

当該地は砂岩の露出した高さ35m、勾配約85°の急峻な東南に面した斜面で、斜面の亀裂からの湧水は多いが小亀裂は少なく、亀裂間隔は1～2mの開口したものである。走向は北-東、傾斜は東-西で流れ盤をなしている。斜面上部約10mは灌木が密生している。

弾性波試験は亀裂のある岩盤、やや風化している岩盤、亀裂のない岩盤について行った。

測定された値は亀裂岩盤で600m/s、風化岩盤で1,000m/s、無亀裂岩盤では3,300m/sである。第三紀の砂岩の弾性波速度は3,500m/s程度であり、それぞれの亀裂係数を求めると0.97、0.92、0.11となる。災害形態は、亀裂がある岩盤では落石が、風化岩盤ではく離型落石が発生している。無亀裂岩盤ではほぼ直角に切土しているが災害は生じていない。(写-2.5)

この地点の落石は地下水が多量に湧出しているところから亀裂部分の風化箇所の結合力が弱められてブロック状にはく離して落石したものと考えられる。

②km236+700～900付近の閃緑岩

調査地点は1986年7月の豪雨によって流出した橋梁から50m上流の地点で閃緑岩の露出した高さ70m、勾配70°の東南に面した急斜面であり、5～20cm間隔の亀裂が発達している。1985、86年に生じた災害は落石およびく離型崩壊である。

湧水は斜面上部から多量に流出している。また岩盤中の割れ目は開口が進行し粘土を挟んでいる。また斜面上部には立ち木はほとんどない。

落石の要因は、表流水が岩目でかこまれたブロックの潜在的すべり面に浸透することにより、岩の強度が低下し、ブロックがすべり出したと考えられる。

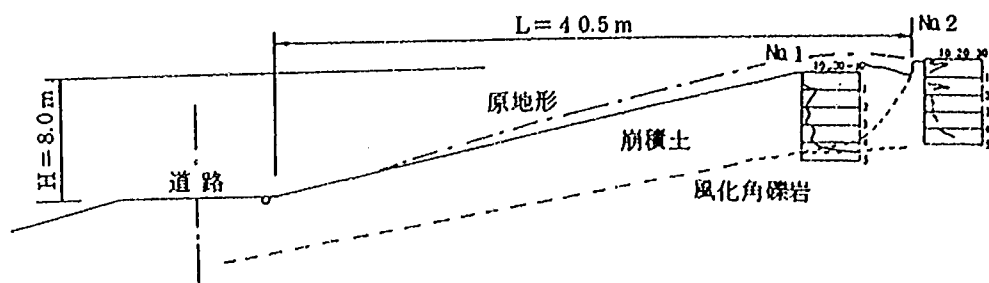


図-2.40 KENON B-1 (A-ブロック)

km 247+800

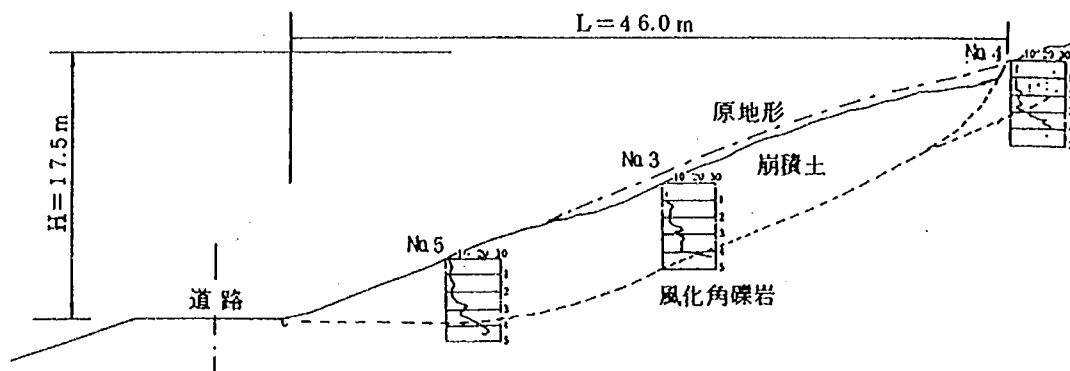


図-2.41 KENON B-1 (B-ブロック)

km 247+800

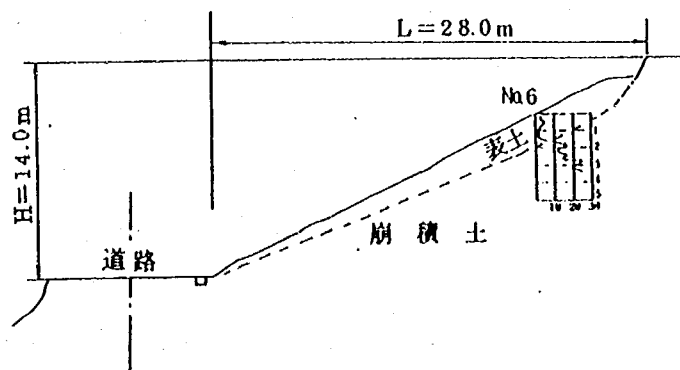


図-2.42 KENON B-1 (C-ブロック)

km 247+800

風化程度を検討するために簡易弾性波試験を行った結果、亀裂の発達した岩盤では $700\sim 800\text{m/s}$ の値を得た。また採取した岩石の超音波速度は 3.44km/s であり、亀裂係数は0.95となり割れ目の多いことがわかる。(写-2.6)

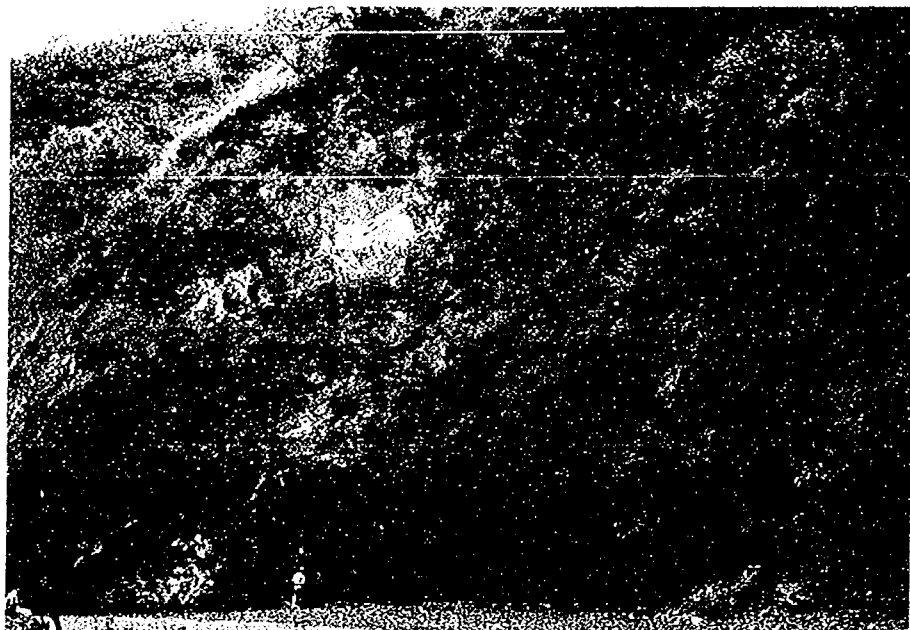


写真-2.5 砂岩の切土斜面



写真-2.6 亀裂の発達した閃緑岩の切土斜面

③km237+800付近の閃緑岩

調査地点は高さ約30m、勾配約65°に切土された法面で地質は閃緑岩で構成されている。

法面は北東に面し、地山は風化、変質の発達した岩盤で、亀裂面に粘土を挟んでいる。亀裂の方向は無方向であり間隔は10cm程度である。クサビ状に落石した形跡が認められるが大部分は地山の風化による崩壊と考えられる。(写真-2.7)

風化の進行状況を調べるために弾性波試験を行った結果1,300m/s程度の値を得た。この値は閃緑岩の3.44km/sに比べ相当低い値を示し、亀裂係数は0.75となるが、速度低下の原因は亀裂よりも風化による影響が大きいと考えられる。

④km240+000付近の閃緑岩

当調査地は高さ約50mの斜面を高さ約7mで切土した法面である。災害は法面上部からの落石と亀裂面からのはく離崩壊である。(写真-2.8)

顕著な節理方向は東-西であり傾斜は50°南である。不連続面の開口は進んでいるが粘土はほとんど挟んでいない。また湧水も認められない。

立ち木はほとんど繁茂せず表土も少ない。

落石はクサビ状に法面上部から発生し、最大岩塊は1m×1m×0.5mである。はく離型崩壊は斜面中央部から発生している。

この地点は、他の調査した閃緑岩の節理よりもはっきりした節理が認められ、この節理に表流水が流れ込み風化を促進し、崩壊したものと思われる。



写真-2.7 風化、変質の著しい閃緑岩の切土斜面



写真-2.8 閃緑岩のはく離落石

この地点では、はく離崩壊の岩盤と節理の発達した岩盤で弾性波試験を行った。前者の速度は $1,100\text{ m/s}$ 、後者は $1,300\sim 2,000\text{ m/s}$ で、後者は節理の間隔によって速度に変化が認められた。亀裂係数は $0.9\sim 0.66$ である。

既往試料の弾性波探査の結果でははく離型岩盤は $800\sim 1,000\text{ m/s}$ 、比較的良好な岩盤は $2,400\sim 2,500\text{ m/s}$ と報告され、今回の試験値とほぼ一致している。

崩壊の状況からもわかるように、このような節理が開口していても粘土の挟んでいない硬岩であれば多少の落石もあるが大崩壊に発展する可能性は少ない。

3) B-2区間の災害

(1) km259+200の切土崩壊

①地形および地質

本調査は約 70 m の幅にわたって崩壊が発生した箇所であり、崩壊地の中央部には「馬の背」をなした小さな尾根が残っている。(写-2.9)



写真-2.9 凝灰質泥岩の深い崩壊

道路は直線型の自然斜面の末端部を5～6m切土して建設されている。滑落崖は道路から高さ約18m、斜距離35mの稜線に発生し、落差は平均して2.5m程度である。崩壊斜面の勾配は約26°である。

この付近を構成している地質は凝灰質泥岩で、特に崩壊地付近の岩は風化されている。

②調査方法ならびに結果

調査は簡易貫入試験、簡易弾性波試験、土質試験および岩石試験によって行った。

貫入試験は「馬の背」と崩壊末端部の2ヵ所で実施したが、「馬の背」においては4mで貫入不可能になった。4mまでは $N_c = 10$ 前後である。また末端部では4.3mまでしか調査が出来なかったが、4.3mで $N_c = 30$ であるところから基盤はこの付近であると推定される。

弾性波試験は道路付近の露出岩について行い、700m/sの速度を得た。

土質試験結果では62%がシルトおよび粘土で、砂分は38%である。塑性指数は39であり高い塑性を示している。

貫入試験の値から $N_c > 30$ の面をすべり面として崩壊したと判断した。この推定図を図-2.43に示す。

(2) km266+100の切土崩壊

①地形および地質

本調査地は1984年に高さ約50m、長さ80m、幅200mにわたって大崩壊が発生した箇所であり、滑落崖の落差は17m程度である。切土は直線型の地形を約45°、長さ15mで行ったと思われる。地質構成は砂岩・頁岩の互層で走向は北40°西、20°南で流れ盤である。頁岩層は青色を呈し風化が進み、砂岩層は亀裂が発達している。

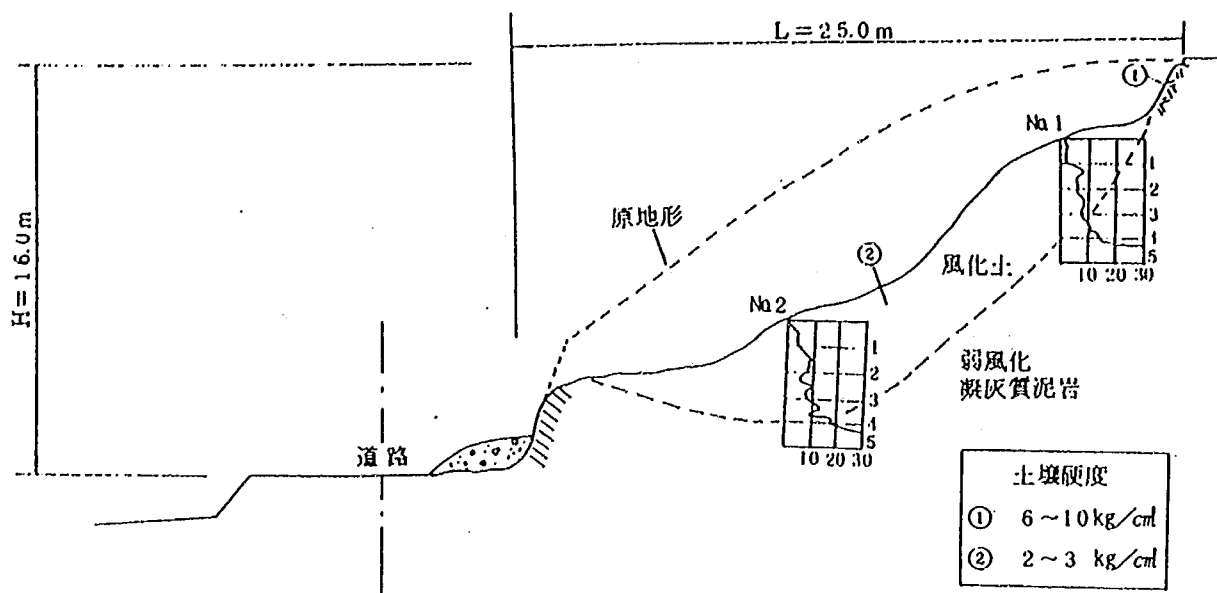


図-2.43 AGOO-BUGUIO B-2 km259+500

現地形は崩壊土砂が取り除かれ、斜面下部に風化された頁岩層が現われ、上部は崩落土塊で覆われている。頁岩層の上部平面は浸透水が湧出して頁岩層は一部「ガリ状」になっている。(写-2.10)

②調査内容ならびに結果

調査には簡易貫入試験、弾性波試験、岩石試験を行った。

貫入試験は、崩落後やや平坦化した箇所と末端部の頁岩層のやや上方の2ヵ所で行った。崩落土では4.3mまで実施したが1.5mまでは $N_c < 5$ 、1.5~4.3mは $N_c = 10 \sim 15$ で基盤には到達していない。

下方では0.5mで N_c は30以上となり基盤である頁岩層と思われる。弾性波試験結果によると、この頁岩層は700m/sの値であり風化していることがわかる。

また岩石試験は同ルートと同程度の頁岩、砂岩について行った。その結果を表-2.6に示す。この頁岩層(泥岩)は成形不能で力学試験は実施出来なかったが、物理試験の値をみても相当、強度低下している岩石であることがわかる。砂岩も同様なことが考えられ、特に縦波速度は1km/s以下であり、密度も2.157と全体に低い値を示している。

図-2.44、図-2.45に推定断面図を示す。

(3) km279+300の切土崩壊

①地形および地質

調査地はバギオ市の西方約5kmの地点で、1984年に同じく大崩壊が発生した箇所に隣接した地点である。崩壊は高さ約15mから発生し、法面長は約35mで滑落崖の深さは約1mである。崩壊地の上方は傾斜約20°の比較的ゆるやかな勾配を持つ崖錐層で旧滑落崖までは約200mある。この崖錐堆積層は雑草でおおわれた粘土混じり土砂で、礫径は約1cmであるが、処々に石灰岩の大転石が存在している。(写-2.11)



写真-2.10 砂岩・泥岩互層の深い崩壊

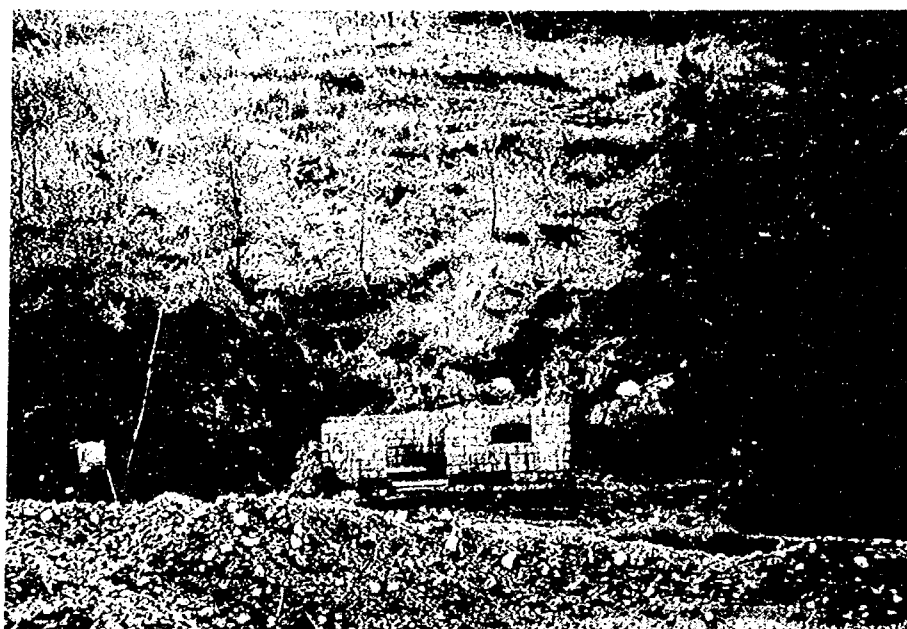


写真-2.11 風化土の浅い崩壊

表-2.6 岩石試験結果

岩石試験結果					岩石試験結果				
調査名 B-2 km 248+600 砂岩					調査名 B-2 km 248+600 泥岩				
見 物	試料番号	18-7			試料番号	18-7			
	直径	m			直径	m			
	自然状態	2.09			自然状態	1.81			
	解離状態	2.18			解離状態	1.91			
比 率	乾燥状態	1.97			乾燥状態	1.65			
	吸水率 (%)	11.0			吸水率 (%)	16.0			
特 性	有機物含量 (%)	21.5			有機物含量 (%)	26.5			
	含水率 (%)	12.1			含水率 (%)	1.53			
性 質	含水比 (%)	6.13			含水比 (%)	9.55			
	密度 (g/cm ³)	2.157			密度 (g/cm ³)				
力 学 性 質	圧縮強度 (kgf/cm ²)	118			圧縮強度 (kgf/cm ²)				
	軸圧縮強度 (kgf/cm ²)				軸圧縮強度 (kgf/cm ²)				
	軸圧縮強度 (kgf/cm ²)				軸圧縮強度 (kgf/cm ²)				
	軸圧縮強度 (kgf/cm ²)				軸圧縮強度 (kgf/cm ²)				
特 性	試験方法				試験方法				
	せん断強度 (kgf/cm ²)				せん断強度 (kgf/cm ²)				
性 質	内摩擦角 (°)				内摩擦角 (°)				
	圧縮強度 (kgf/cm ²)				圧縮強度 (kgf/cm ²)				
超 音 波 伝 播 速 度	VP (km/sec)	0.97			VP (km/sec)				
	VS (km/sec)	0.562			VS (km/sec)				
	動せん断係数 (kgf/cm ²)				動せん断係数 (kgf/cm ²)				
	動ポアソン比	0.247			動ポアソン比				
シ ロ ア ー 硬 度	最高値				最高値				
	最低値				最低値				
	平均値				平均値				

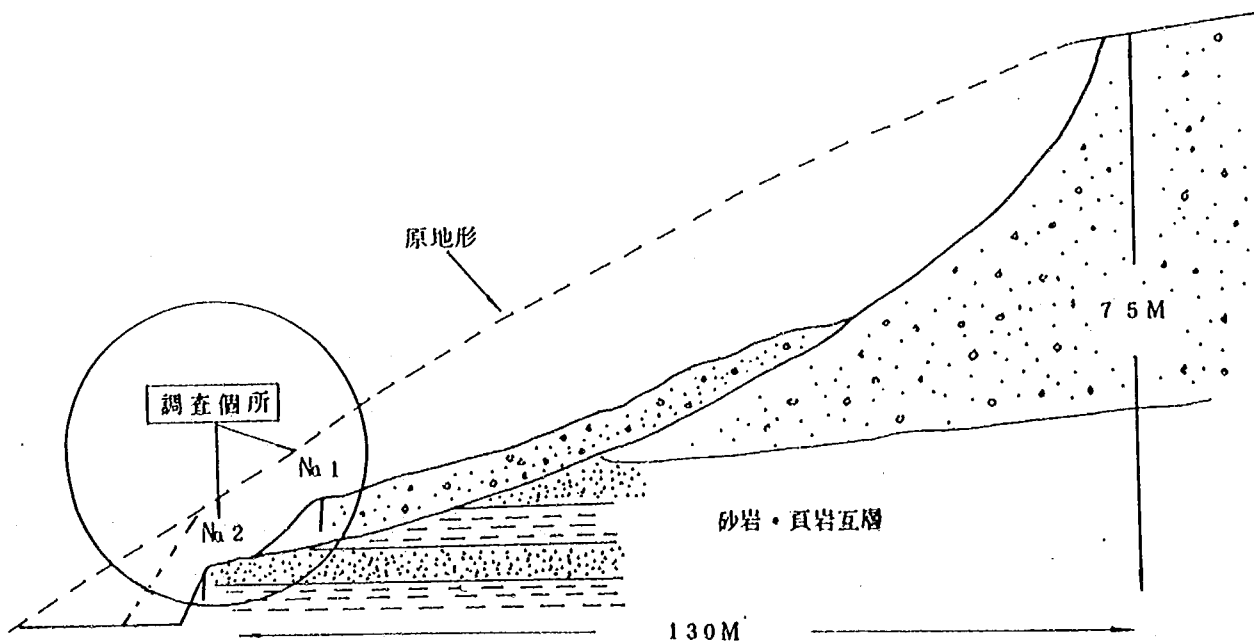


図-2.44 推定断面図

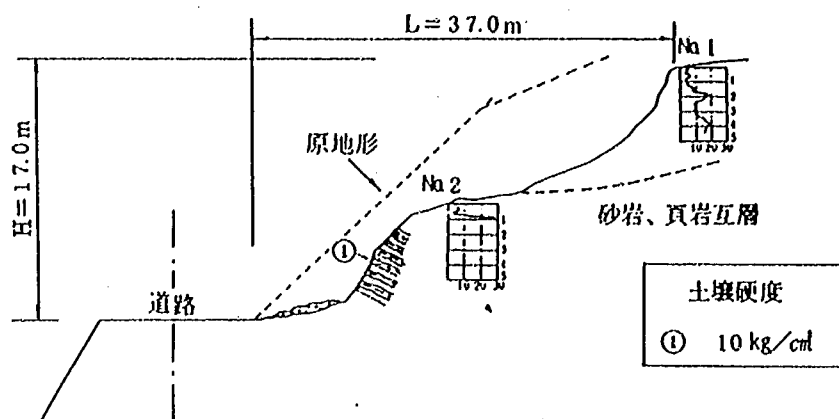


図-2.45 AGOO-BUGUIO B-2 (調査箇所拡大図)
Km 2 6 6 + 1 0 0

構成している地質は砂岩・泥岩の互層である。

②調査方法ならびに結果

調査は簡易貫入試験のみを実施した。貫入試験は滑落崖の上方と、崩壊地の末端部の2ヵ所である。

貫入結果は崩壊地で2mで貫入不能になったが、これは石灰岩の転石によるものと思われ、上方では5mまで貫入したがNcは10前後である。推定断面図を図-2.46に示す。

4) B-3区間の盛土崩壊

調査地はB-3区間のkm297+100の盛土であり、1986年7月に崩壊が発生した。

盛土は長さ約23m、勾配約30°で施工され、のり尻は石積土留めが施工された形跡がある。のり尻下方には小さな沢が存在している。路肩には側溝は無く、崩壊規模は幅約30m、深さは約1.5m、長さ約20mである。(写-2.12)

調査は簡易貫入試験と土質試験を実施した。貫入試験は法面ほぼ中央部とのり先近くの2ヵ所で行った。中央部では4.3mまで実施したが、2m以下に地山と思われるNc $\geq$ 10が存在し、のり先部でも2mであり、のり先部では基盤と思われるNc>30は3.3mに存在している。

石積土留は単に石を積んだ程度で、Nc>5の柔らかい土砂の上に築造され、路面からの浸透水や、地山から盛土への水の浸入に対する対策がなされていなかったために、基礎地盤が水によって崩壊したと思われる。

土質試験は盛土材料と思われる資料を採取して行った。結果を表-2.7に示す。砂分17%と少なく、大部分がシルト、粘土であるので、浸透水による土の強度変化に対する影響は大きい。

推定断面図を図-2.47に示す。

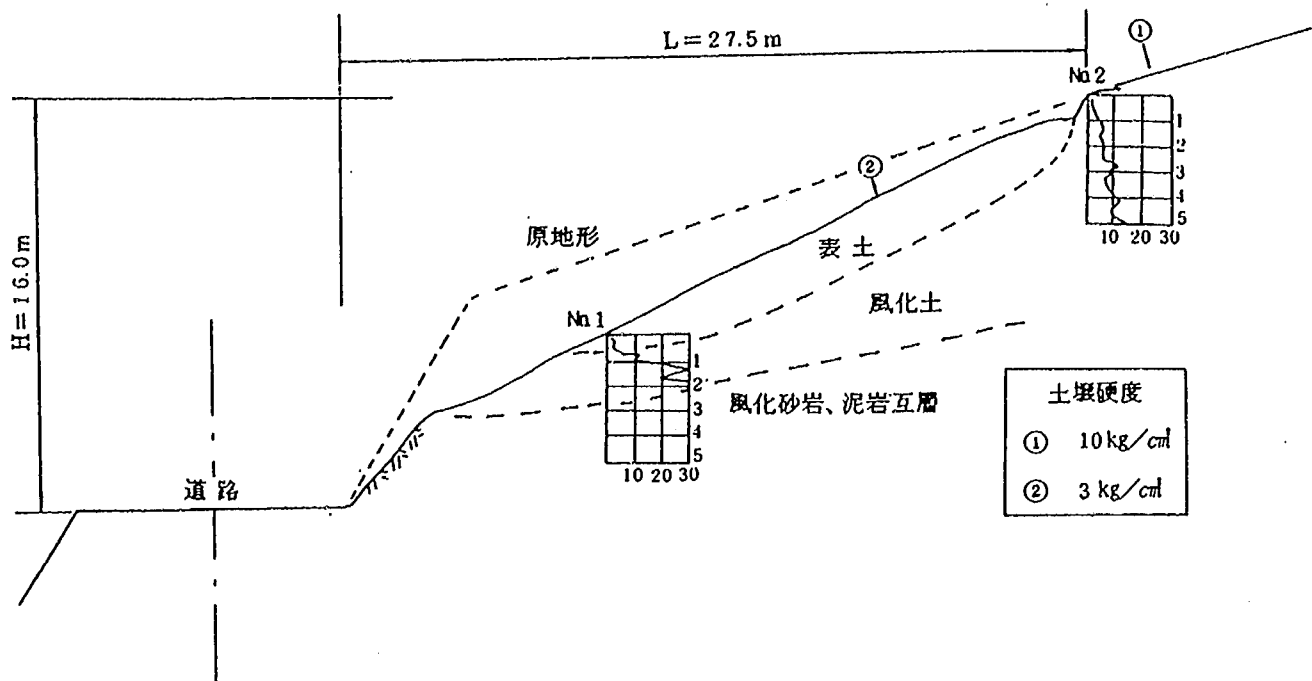


图-2.46 AGOO-BUGUIO B-2

km 279+300

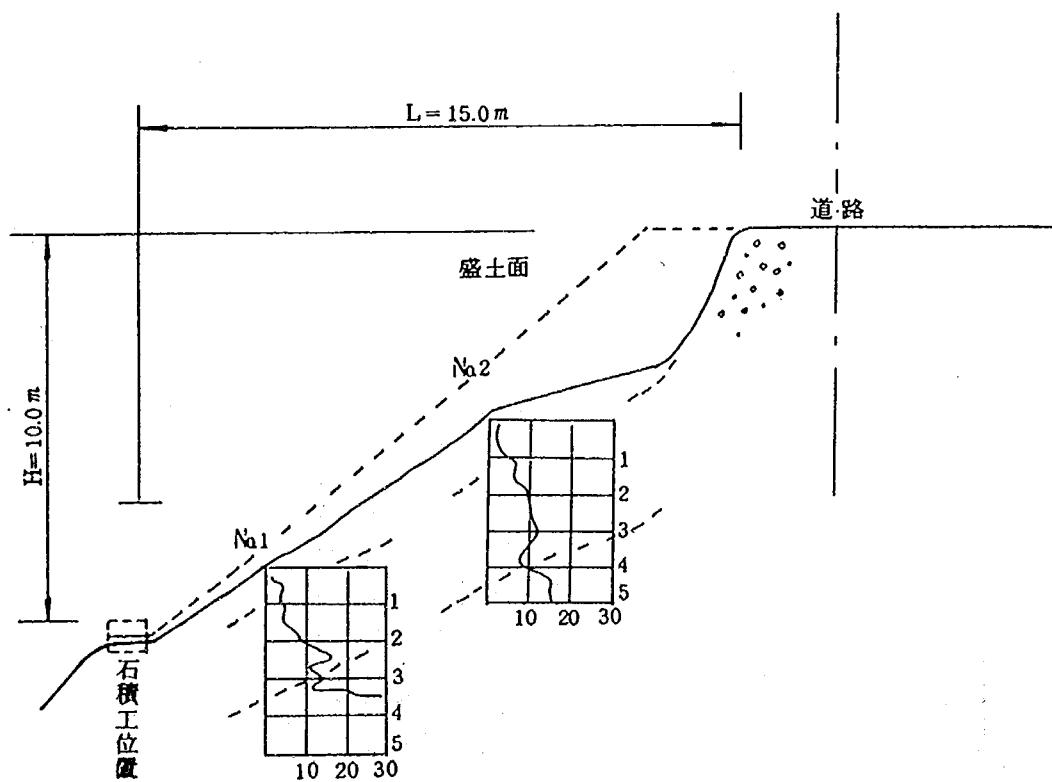
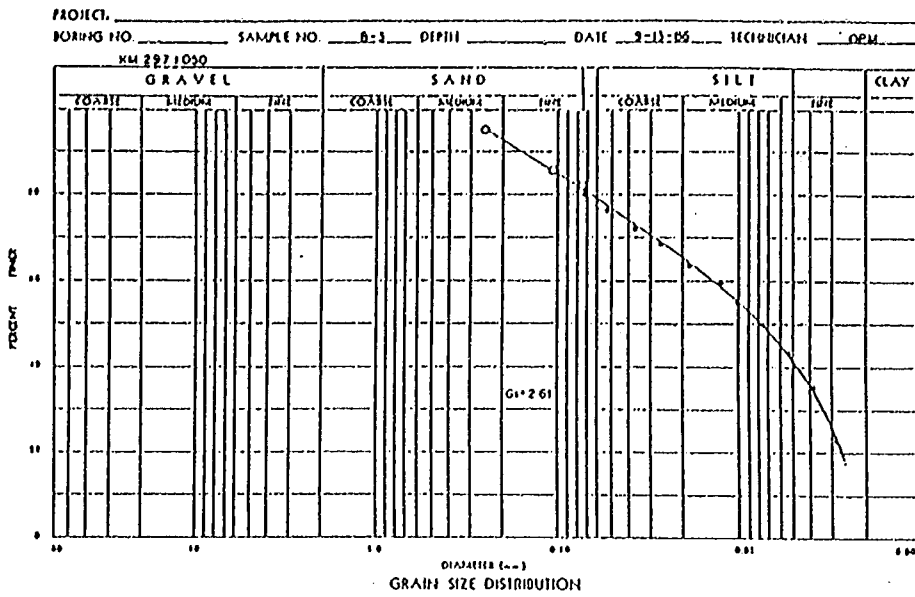


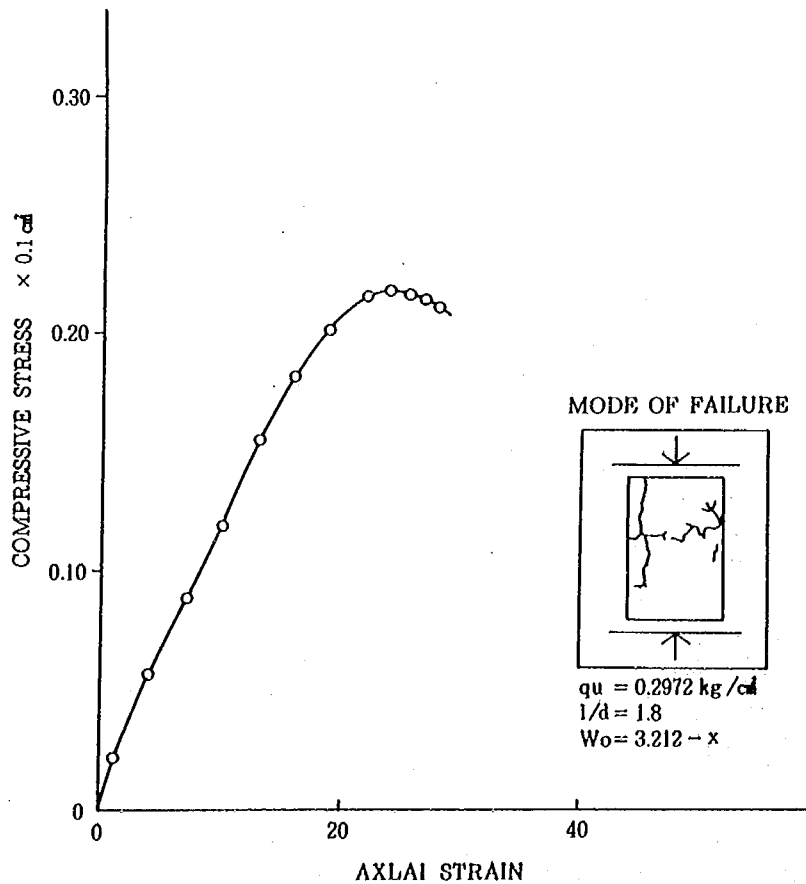
图-2.47 NAGUILIAN B-3 KM

km 297+100

表-2.7 土質試験結果



UNCONEINED COMPRESSION TEST



試料番号 No	B-3
採取深度 (m)	297+030
試料観察	Brown Sandy Silty CLAY
基本性質	自然含水比 ω (%) 36
	土粒子の比重 G_s 2.61
	湿潤密度 γ (g/cm ³) 1.52
	乾燥密度 γ_d (g/cm ³)
	間隙比 e
	飽和度 S_r (%)
粒合	礫分 (%) 0
	配砂分 (%) 17
	シルト分 (%) 41
	粘土分 (%) 42
度	最大径 (mm) 0.42
	60%径 D_{60} (mm) 0.014
	30%径 D_{30} (mm) 0.0027
	10%径 (有効径) D_{10} (mm) 0.0025
	均等係数 U_c 5.6
	曲率係数 U_c' 0.21
	日本統一土質分類名 CH
コンソメシ	液性限界 L_L (%) 90
	塑性限界 P_L (%) 35
	塑性指数 P_I 55
	収縮限界 S_L (%)
	I_C 0.98
透水係数 (定・変) K (cm/sec)	
突固め	最適含水比 ω_{opt} (%)
	最高密度 γ_{dmax} (g/cm ³)
剪断強度	一軸圧縮強度 q_u (kg/cm ²) 0.2172
	縦断比 S_v
	変形係数 E_{ss} 0.13
	粘着力 C (kg/cm ²)
	内部摩擦角 ϕ
	粘着力 C (kg/cm ²)
	内部摩擦角 ϕ
圧密	初期間隙比 e_o
	圧密降伏応力 P_c (kg/cm ²)
	圧縮指数 C_c
	圧密係数 C_v (cm ² /min)
	体積圧縮係数 m_v (cm ³ /kg)
	透水係数 k (cm/min)
	PH 6.45

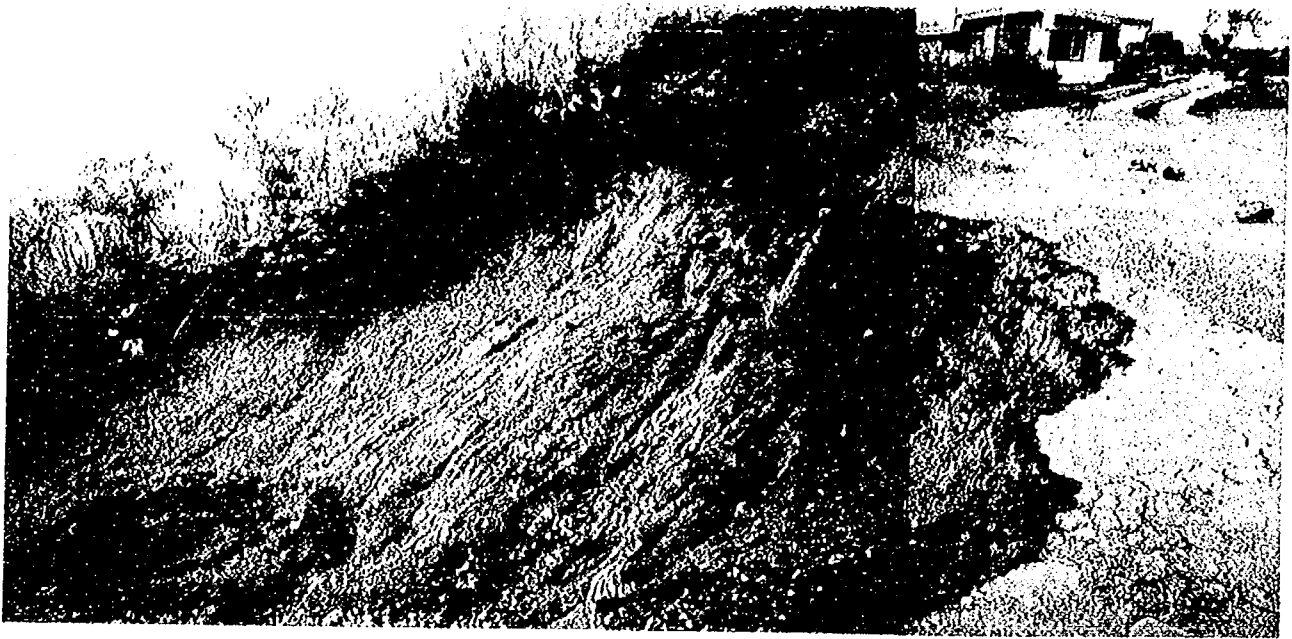


写真-2.12 盛土の深い崩壊

2.3 降雨量に関する調査

降雨が法面崩壊の直接原因となっていることは、台風に伴う集中豪雨により、各地で崩壊が多発している現状から見て明らかであり、降雨と崩壊の関係を解明することが、今後の道路維持管理の面から必要と思われる。

ここでは収集した資料の整理についてまとめることとした。

2.3.1 降雨量に関する資料の収集

降雨量に関するデータとしては、時間降雨量および日降雨量を収集した。降雨量の調査地点を表-2.8、図-2.48に示すとおりである。

また、1984～1985年の2年間に対象区間を通過した台風に伴う日降雨量のデータを、周辺地域の雨量観測所から抜粋した（Annual Tropical Cyclone Report 1984, 1985）。

2.3.2 資料の整理

1) 年度別、最高日雨量と最高月雨量

年度別、最高日降雨量、最高月別降雨量は表-2.9のとおりである。

表より最高日降雨量、最高月降雨量はケノン道路、ナギリアン道路（B-1～B-3）が他地域より降雨量が多く、特に、台風の通過する6月～8月に集中していることが判る。

サンタフェ（Santa Fe）、ディアディ（Diadi）（M-4～M-6）では観測記録が1984年のみであり、推定は困難であるが、バギオ地域と同様、5月～8月にかけて降雨量が多くなる傾向がみられる。

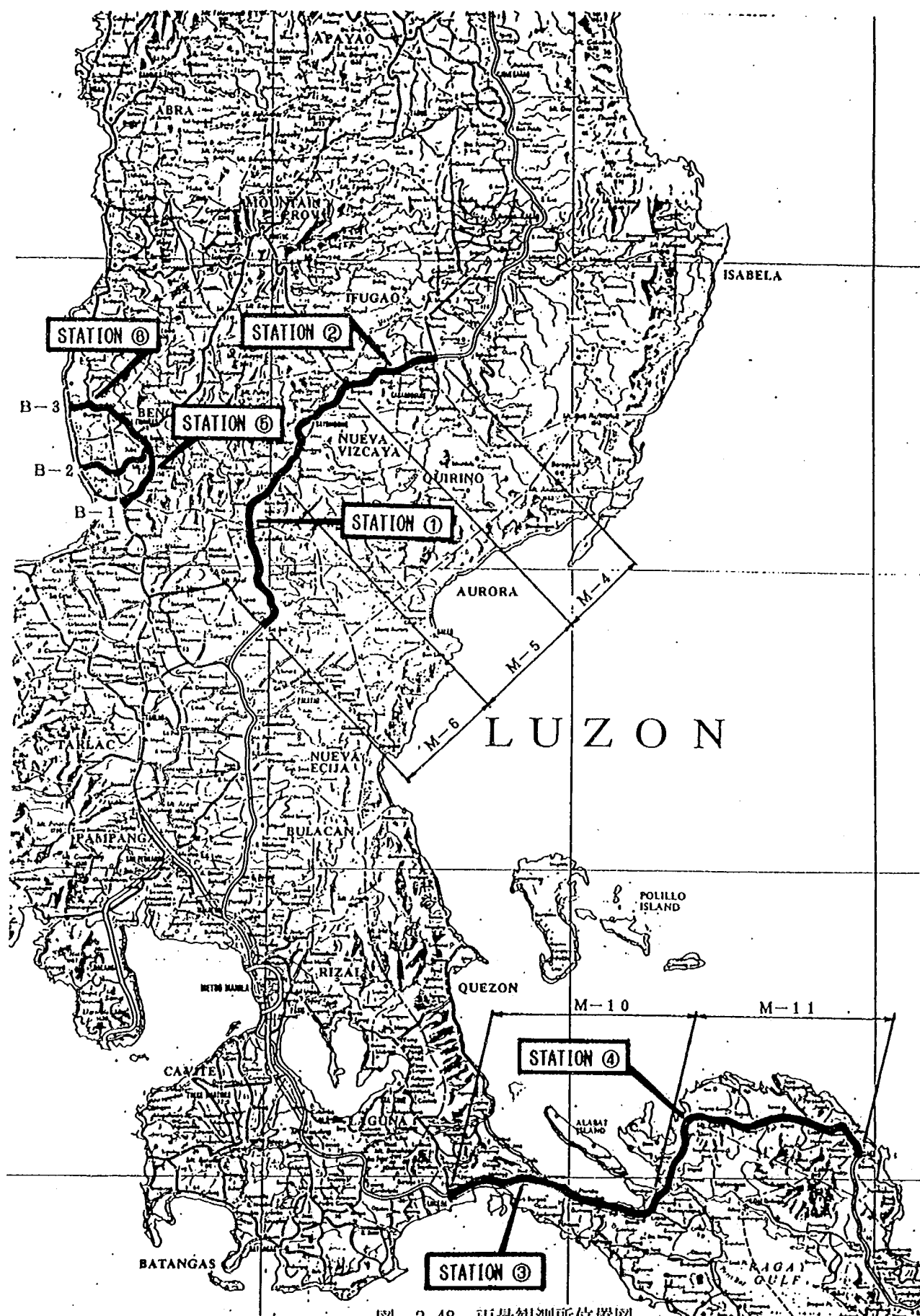


图-2.48 雨量観測所位置图

表一2.8 降雨量観測ステーションと観測期間

観測所所在地		雨量計 設置年月	観測期間
1.	Santa Fe, Nueva Vizcaya	1984年5月	1984.5. 1~1985.4. 10
2.	Diadi , "	"	1984.5. 8~1984.9. 20
3.	Atimonan, Quezon	"	1984.5. 17~1984.9. 5
4.	Sta Elena , Camarines Norte	1985年4月	1985.4. 26~1986.6. 27
5.	Kennon Road , Baguio	1984年4月	1984.5. 8~1986.7. 13
6.	Naguilian , La Union	1985年4月	1985.5. 11~1986.7. 14

表一2.9 年度別最高日降雨量, 月降雨量

(mm)

	1984				1985				1986			
	日雨量		月雨量		日雨量		月雨量		日雨量		月雨量	
	日	雨量	月	雨量	日	雨量	月	雨量	日	雨量	月	雨量
Santa Fe	8/29	320	8	1184								
Diadi	5/23	153	5	423								
Atimonan	5/24	39	8	275								
Sta Elena	10/17	217	10	803	1/27	103	1	515				
Kennon Road	8/29	448	8	1808	6/22	517	6	1501	7/9	958	7	1424
Naguilian					6/22	269	6	1530	7/9	833	7	1508

アティモナン (Atimonan)、ステーション・エレナ (Station Elena) (M-10~M-11) の1985年では10月に、また1986年では1月に最大降雨量がみられ、他の2地区とは異なった降雨傾向を示しており、気象区分の差が降雨量、降雨月に表われている。

表-2.10 Kennon Road, Naugilianにおける時間降雨強度

観測ステーション	日 時	台 風 名	連続雨量	降雨時間	平均時間降雨強度	最大時間降雨強度
Kennon	1985. 8.11~12	Huling	137.5mm	35H	3.93mm/H	11.0mm/H
"	1985. 8.19~20	Ibiang	195.0	24	8.13	46.0
"	1985.10.15	Saling	155.0	20	7.75	17.0
Naguilian	1985. 8.11~12	Huling	150.0	27	5.56	20.0
"	1985. 8.21	Ibiang	175.0	13	13.46	42.0
"	1985. 8.22	Ibiang	115.0	8	14.38	40.0
"	1986. 6.27		155.0	5	31.00	77.5
Kennon	1985. 8.28~29	Daling	327.5	18	18.19	29.5
Naguilian	1985. 8.28~29	"	417.5	23	18.15	51.5
"	1985. 6.21~23	Kuring	475.0	42	11.31	35.0
Kennon	1985. 6.21~23	"	711.0	47	15.12	43.8
"	1986. 7. 8~10	Gading	1,320	55	24.00	68.5
Naguilian	1986. 7. 8~10	"	1,110	48	23.12	55.8

2)時間降雨強度

観測結果から連続雨量が150mm以上となる降雨日時を選定し、その時の平均時間降雨強度および最大時間降雨強度を表-2.9にまとめた。

なお対象とした観測ステーションはケノン道路およびナギリアン道路の2ヵ所である。他の4ステーションについてはデータがなく、比較検討はしない。

3)台風に伴う降雨量

集中豪雨が台風に伴って発生していることが明らかであるので、1984年、1985年に対象区間を通過した台風に伴う日降雨量を表-2.11、表-2.12にAnnual Tropical Cyclone Reportの観測ステーションのデータをもとに示した。

表からも明らかなように発生した大部分の集中豪雨は台風によりもたらされている。

表—2.11 24-HOUR RAINFALL SELECTED WEATHER STATIONS (mm) 1984

1984

Weather Station	T.S.ASIANG						T.BIRING			T.S.KOHSING			T.S.DITANG			
	6/19	20	21	22	23	24	7/1	2	3	7/5	6	7	8/4	5	6	7
Bagulo	6.4	0.2	20.4	59.2	79.4	18.2	5.2	68.2	10.0	13.0	52.0	8.4	0.9	8.0	11.2	8.2
Dagupan	44.6	1.2	65.4	27.4	30.4	20.3	13.8	9.6	5.8	26.4	32.4	0	53.6	0	18.0	17.2
Sta. Fe	4.0	7.0	5.0	5.0	0	23.0	0	17.0	2.0	5.0	75.0	4.0	3.0	0	5.0	3.0
Ambulong	1.0	9.4	252.0	348.0	86.0	118.0	4.2	12.4	0	34.8	1.6	0	T	T	280.0	120.0
Tayabas																
Daet	6.1	0.5	1.0	T	6.1	2.3	8.2	0	0	43.4	10.7	0	12.0	T	2.9	0.5

Weather Station	T.D.EDENG			T.D.GLORINO		T.S.HUWING		T.ISANG				T.D.LUSING	T.S.HARING			
	8/11	12	13	8/14	15	8/15	16	8/16	17	18	19	8/25	8/27	28	29	30
Bagulo	13.8	2.4	36.4	53.8	126.4	126.4	134.2	134.2	66.2	62.6	94.0	4.4	35.8	381.8	276.7	131.9
Dagupan	16.4	3.8	57.1	33.6	96.2	96.2	129.8	129.8	28.0	12.0	0.8	0	8.0	232.2	127.4	79.2
Sta. Fe	19.4	11.3	41.1	35.4	51.2	51.2	101.0	101.0	46.8	49.4	2.1	0	29.4	91.7	111.6	86.2
Ambulong	90.0	290.0	156.0	328.0	106.0	106.0	164.0	164.0	30.0	6.0	0	152.0	110.0	114.0	276.0	68.0
Tayabas																
Daet	0	1.8	2.8	2.0	8.9	8.9	0	0	2.3	0	0	T	0.5	1.5	10.4	0

Weather Station	T.HITANG					T.D.OSANG	T.D.PARING		T.S.REHING						T.D.SENIANG	
	8/31	9/1	2	3	4	9/20	10/19	20	10/23	24	25	10/28	29	30	10/25	26
Bagulo	9.3	1.2	20.2	T	T	6.4	104.0	1.6	9.9	1.6	2.2	109.2	47.8	1.0	2.2	8.1
Dagupan	20.4	0	16.6	0.4	0.4	0	1.5	0.6	14.4	3.2	0	33.6	35.8	0	0	31.4
Sta. Fe	11.0															
Ambulong	0	0	6.4	1.2	0	6.4	520.0	113.2	184.0	280.0	30.0	807.6	200.0	54.0	30.0	T
Tayabas																
Daet	10.4	0	8.9	0	0	16.3	151.6	29.0	7.4	14.0	0	0	0.7	33.0	0	0

Weather Station	T.TOYANG				T.UNDANG				T.WELPRING								
	10/26	27	28	29	11/3	4	5	6	11/14	15	16	17	18	19	20	21	22
Bagulo	8.1	T	109.2	47.8	3.2	8.3	0	0	0	0	0	T	1.2	0	1.0	0	0
Dagupan	31.4	0	33.6	35.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0	0	0	0
Sta. Fe					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ambulong	T	98.0	807.6	200.0	0	0	174.0	0	T	0	0	0	0	0	0	0	0
Tayabas																	
Daet	0	0	0	0.7	3.5	22.4	1.3	2.3	11.5	8.4	20.3	0	0	10.9	48.7	0.5	7.1

Weather Station	T.YOWING			T.ARING													
	11/18	19	20	12/5	6	7	8	9	10	11							
Bagulo	1.2	0	1.0	T	2.3	T	0	0	0	0							
Dagupan	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
Sta. Fe	0	0	0														
Ambulong	0	0	0	T	T	0	0	0	0	0							
Tayabas																	
Daet	0	10.9	48.7	2.3	3.6	1.0	0	0	0	0							

表-2.12 24-HOUR RAINFALL SELECTED WEATHER STATIONS (mm) 1985

Weather Station	T.S. ATRING				T. BINING					T. KURING							
	1/5	6	7	8	5/21	22	23	24	25	6/20	21	22	23				
Bagulo	0	0	0	0	11.2	23.0	9.2	T	4.1	42.4	269.9	304.6	152.2				
Dagupan																	
Sta. Fe					0	0	0	0	0	5.1	57.4	102.0	93.3				
Ambulong	T	0.4	0	0	0	0	19.0	0	0	316.0	98.8	126.6	154.0				
Tayabas																	
Daet																	

Weather Station	T. DALING					T. D. ELANG				T. GORING			T. S. HULING				
	6/25	26	27	28	29	7/4	5	6	7	7/27	28	29	8/10	11	12		
Bagulo	16.6	12.5	9.4	344.5	149.4	9.4	8.4	20.8	15.4	4.1	3.2	28.5	14.7	79.2	65.6		
Dagupan																	
Sta. Fe	0	5.3	0	102.0	71.0	3.2	52.0	47.4	25.2	0	4.5	0					
Ambulong	T	64.2	242.6	148.0	T	23.0	124.6	24.0	8.0	7.2	20.8	8.0	122.0	0	16.0		
Tayabas																	
Daet																	

Weather Station	T. IBIANG					T. LUHING					T. HILING				T. S. MARSING		
	8/19	20	21	22	23	8/26	27	28	29	30	9/1	2	3	4	9/15	16	17
Bagulo	63.8	168.0	119.3	233.4	21.0	116.7	101.6	172.5	13.7	0.6	0	27.9	180.7	33.2	10.6	0	0
Dagupan																	
Sta. Fe											3.2	42.3	65.0	38.1	0	0	0
Ambulong	0	50.0	80.0	0	0	0	12.0	0	0	0	T	6.0	28.4	1.8	T	T	22.4
Tayabas																	
Daet																	

Weather Station	T. D. OPENG			T. PINING						T. RUBING		T. SALING						
	9/24	25	26	9 /29	30	10/ 1	2	3	4	10/12	13	10/15	16	17	18	19	20	
Kennon	0	3.5	6.0	7.0	2.0	2.0	0	1.0	1.0	0.5	0	0	0	0	6.0	167.75	5.5	
Naguilian	0	0.25	0	30.5	11.0	13.75	3.0	18.5	5.5	0	0	10.5	0	2.5	6.5	31.5	0.5	
Tactac																		
Atimonan																		
Calauag-Daet	2.0	0	0	0	16.0	6.5	9.0	0	0	76.0	0	4.5	1.5	217.5	189.5	0	0	
Calbayog	5.0	9.7	6.7	23.7	0	32.3	4.0	5.7	0.5	19.8	0.5	3.5	2.5	8.6	31.4	0	0	

Weather Station	T. TASING										T. UNSING							
	10/23	24	25	26	27	28	29	30	31	12/20	21	22	23	24				
Kennon	0	82.4	18.0	78.25	3.5	0	0	3.0	0	0	0	0	0	0				
Naguilian	0	8.5	0	3.5	0.5	0.25	1.0	2.5	19.25	0	0	0	0	0				
Tactac																		
Atimonan																		
Calauag-Daet	82.5	0	0	0	0	0	0	0	0	25.0	13.0	8.5	0	28.5				
Calbayog	1.0	0	0	13.0	0	0	0	16.5	0									

第3章 調査対象区間の道路法面の特徴

3.1 道路法面の形態

調査対象区間の道路は、ほとんどが2車線道路であり、1970年以降に建設された道路は車道幅、路肩幅に余裕のある設計となっているが、それ以前のもは特に山岳道路では車道幅、路肩幅ともに狭く、線形も悪い区間が多く、従って法面も厳しい条件のもとに作られている。

昭和59年度から3年間にわたって調査した法面は、小規模な法面を除いて対象区間内の法面をほとんど網羅したもので、これらの集計から調査対象区間の法面の現状を述べると以下のとおりである。

3.1.1 切土法面

切土法面を構成しているものは岩石、砂礫および岩石と砂礫の複合したものである。法面の高さは10～30mが全体の半数以上を占めていて、特にダルトン・パス (Dalton Pass) 周辺のM-6、B-1のケノン道路、B-2のアゴーバギオ道路の3区間に多い。また50m以上の法面も同区間に多い。

勾配は45°以上の法面が大部分であり、そのうち60°以上の法面は山岳地帯に多い。

法面の平面形状は尾根型、谷型、直線型がほぼ平均しているが、断面形状は尾根地形を示す凸型および長大法面となる直線の形状が多い。

実態調査やモデル法面詳細調査などから切土法面を分類すると次の10タイプになる。

1) 崖錐法面

大部分が崖錐である砂礫土や粘着力に乏しい砂質土で構成され、法面の高さは30m以下であるが勾配は45°以上のものが多く、崖錐層の厚さは比較的薄い。分布は対象区間全域にわたって存在するが、ダルトン・パス周辺のM-6は砂礫土が多い。

2) 砂礫状法面

丘陵性地形の斜面に多く、崖錐、崩積土で法面の高さも低く勾配も緩い。分布はダルトン・パス北部に多い。

3) 硬岩・土砂法面

岩盤上に段丘礫層、火山灰などの固結度や透水性の極度に異なるものが法面上方に残ったものでM-6、B-1のケノン道路、B-3のナギリアン道路に多く、法面は高く勾配も急である。

4) 風化土法面

風化の進んだ火山砕屑物や構造変質を受けた岩石の強風化による粘土化土層、熱帯地方特有の石灰岩から変質された赤色風化土で構成され、法面の高さや勾配は①のタイプと同じである。このタイプには花崗岩の風化したマサ土もあるが、分布は少ない。

風化土法面はM-6やB-2のアゴー・バギオ道路に比較的多い。

5) 軟岩・風化土法面

砂岩・泥岩の互層などの上に土砂が堆積したもので基盤の傾斜は緩い。法面の高さは比較的低い勾配

① 崖錐斜面

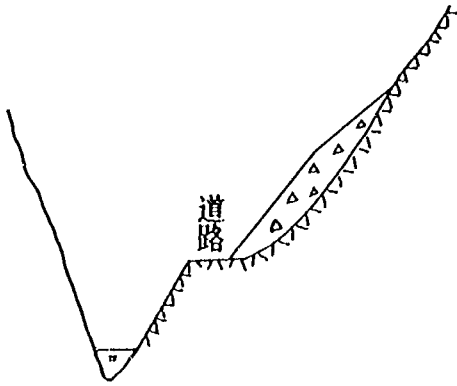


图-3.1

② 砂礫上斜面

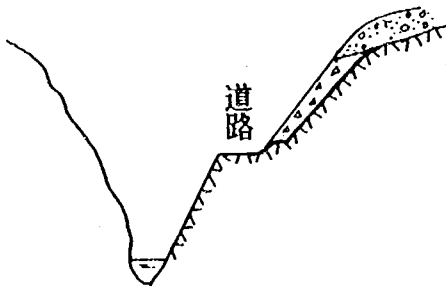


图-3.2

③ 硬岩·土砂斜面

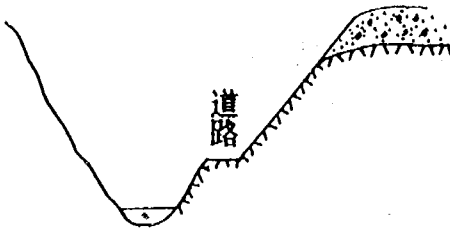


图-3.3

④ 風化土斜面

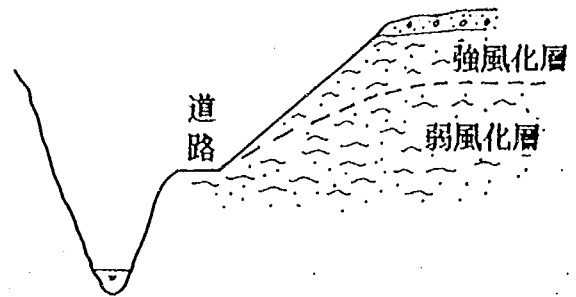


图-3.4

⑤ 軟岩·風化土斜面

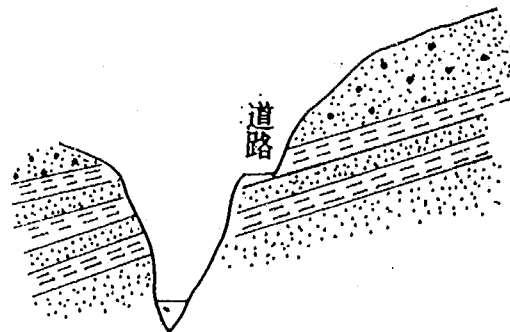


图-3.5

⑥ 流れ盤斜面

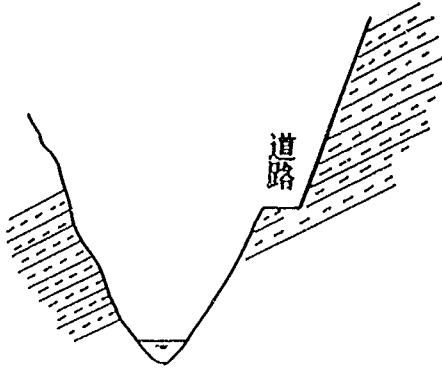


図-3.6

⑦ きれつ斜面

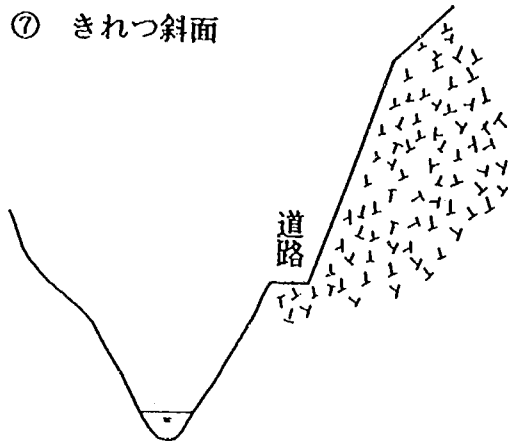


図-3.7

⑧ 風化互層斜面

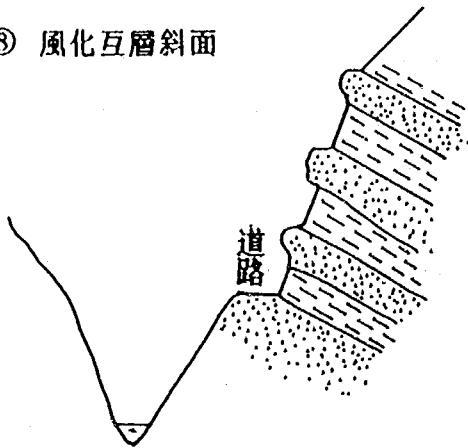


図-3.8

⑨ オーバーハング

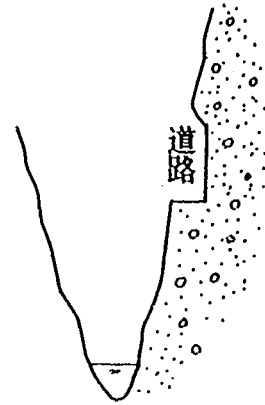


図-3.9

⑩ 風化残礫斜面

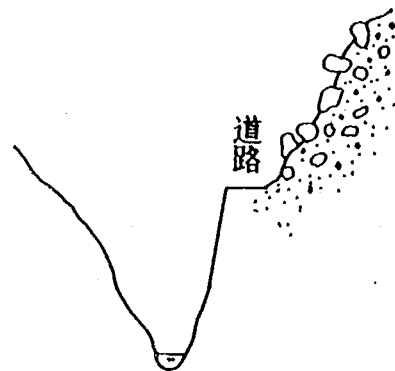


図-3.10

は急傾斜のものが多く、B-2のアーサー・バギオ道路に多く見られる。

6) 流れ盤法面

堆積岩の互層や頁岩などの走向に平行に切り取られて流れ盤構造になっているもので、高さや勾配が比較的大きいものが多いが、このタイプは少ない。

7) 亀裂法面

岩石で構成された法面の多くはこのタイプで法面高も高く勾配も急である。特に深成岩の節理が発達したものでB-1のケノン道路やM-6のダルトン・パス周辺に多く見られる。

8) 風化互層法面

6)のタイプと同様、岩石で構成された法面であるが、割れ目や層理面が山側に傾斜しているもので法面高も高く勾配も急である。

9) オーバーハング

礫岩、砂岩、安山岩などの地域で堅硬な岩質に多く見られる。

10) 風化残礫法面

岩石の強風化によるものが多いが、土砂化した法面もある。法面高も高く勾配も急であり、対象区間全域に存在している。

以上が切土法面の形態である。これらの法面からは地下水が浸出したり、岩石の割れ目から湧出しているが、このような法面に対して小段の設置や排水施設や植生工などの法面保護工はほとんど設置されていない。

3.1.2 盛土法面

盛土法面は片切、片盛土でつくられた盛土である。盛土法面の高さは30m以下でそのうち大部分は山岳地帯のM-6、B-1、B-2、B-3の区間である。また山岳地帯の法面では45°以上の勾配のことが多い。

法面の形状は平面形状では谷型が半数以上であり、断面形状も地表水の集中しやすい凹型の形状を持つものが多く見られる。

盛土法面のタイプは「緩傾斜盛土斜面」、「急傾斜盛土法面」に分類できる。

「急勾配盛土法面」でさえ石積工が施されている以外、排水施設や小段など対策は行われていない。

3.2 法面崩壊の形態

崩壊のを、主として崩壊の規模の面から分類すると次のように分類される。

		切土法面	浅い崩壊
	法面崩壊		深い崩壊
崩壊		盛土法面	浅い崩壊
			深い崩壊
	落 石	抜け落ち型落石	
		はく離型落石	

3.2.1 切土法面の崩壊と落石の形態

調査対象区間の切土法面の崩壊の内、比較的多く見られる法面崩壊の形態は次の7形態である。

1) 浅い切土崩壊

(1) 崖錐法面

砂礫、砂質土などの大きい透水係数を有している崖錐法面において、雨水の集中により土層内に間隙水圧が発生して表層すべりを起すものであり、対象区間全域で見られるが災害の規模は比較的小さい。

(2) 砂礫土法面

タイプ(1)の浅い崩壊であり、災害の規模は小さいが対象区間で随所に発生している。

(3) 風化土法面

火山碎屑岩や変質を受けた岩石が粘土化した法面や赤色風化土に多く、のり肩上部からのり肩を含んで崩壊するもので強風化層と弱風化層の境界ですべるものと思われる。この形態の崩壊は現在は安定しているが、順次に下部または深部に移行することが考えられる。崩壊が毎年同じ斜面に発生している現象はこの形態と考えられる。このタイプの特徴として、崩壊斜面の長さが30～35mのことが多いことが注目される。

2) 軟岩・風化土法面

(4) 軟岩・風化土法面

砂岩・泥岩互層が基盤である形態に多く発生している。モデル法面の詳細調査のB-2 km266+100の箇所はこの形態であり、基盤の上には浸透水が認められる。崩壊の頭部が稜線までおよぶような大きな規模の崩壊である。基盤である砂岩・泥岩は両岩とも風化が進行している。

3) 落石

(5) 亀裂法面

割れ目が無方向に発達した岩盤に多く、規模は大小様々である。割れ目の少ない岩盤はくさび状に崩落するが規模は小さい。B-1やM-6に多い。層理面が道路側に傾斜している法面では岩石からはく離して崩壊しているがその規模は小さい。

(6) 風化互層法面

割れ目、層理が山側に傾斜しているが特に硬軟の著しい差のある岩盤斜面で、法面上に残っていた硬岩がはく離するものであるが規模は小さい。

① 緩傾斜盛土法面

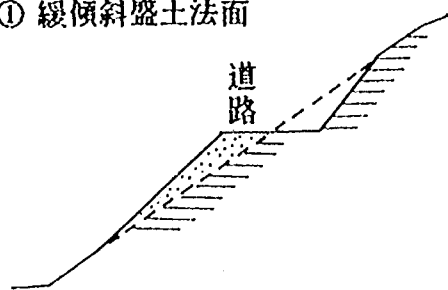


図-3.11

② 砂礫上斜面

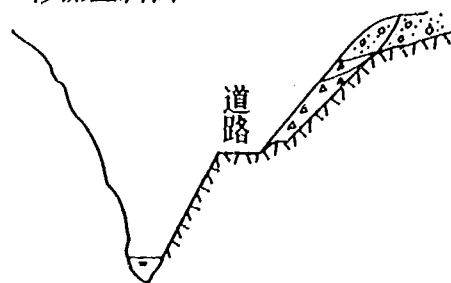


図-3.14

② 急傾斜盛土法面

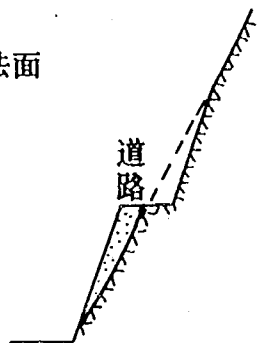


図-3.12

④ 風化土斜面

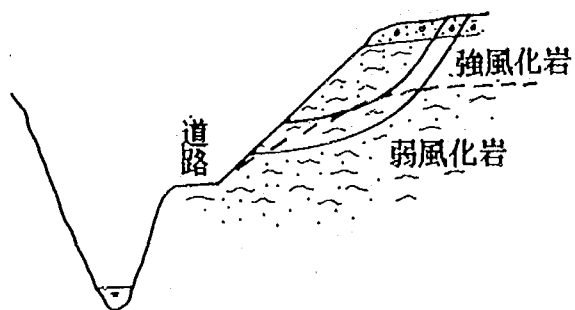


図-3.15

(1) 浅い切土崩壊

① 崖錐斜面

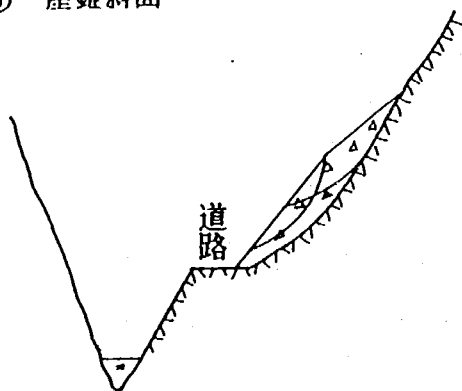


図-3.13

(2) 軟岩・風化土斜面

⑤

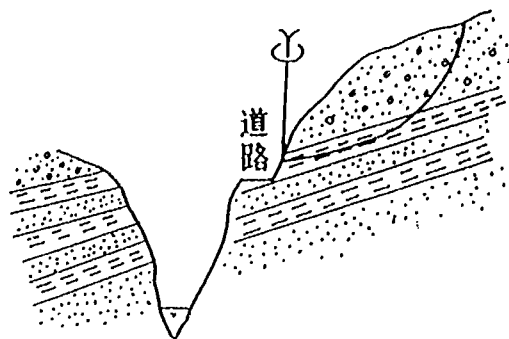


図-3.16

⑩ 風化残礫斜面

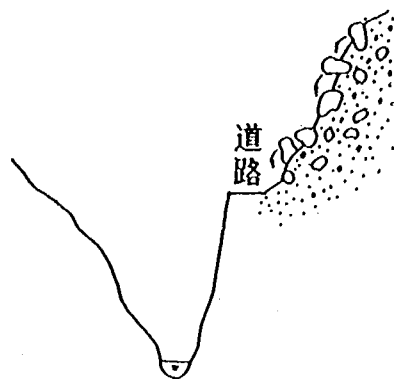


図-3.19

(3) 落 石

⑦ きれつ斜面

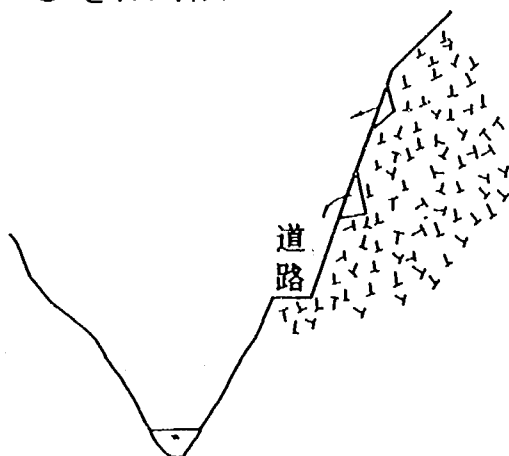


図-3.17

① 緩傾斜盛土法面

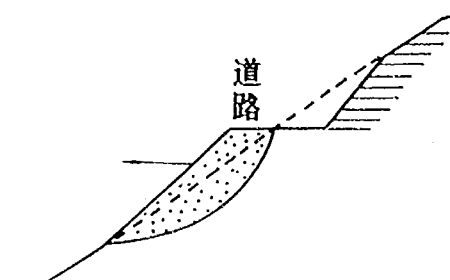


図-3.20

⑧ 風化互層斜面

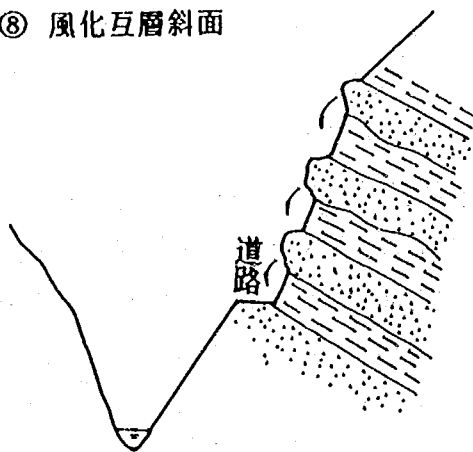


図-3.18

② 急傾斜盛土法面

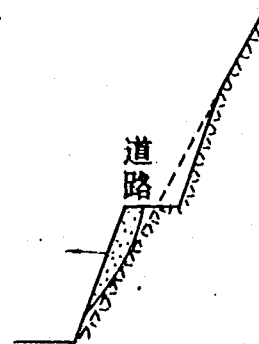


図-3.21

(7) 風化残礫法面

岩石と岩石の風化岩片で構成されたもので、岩塊として崩落するものである。なお、石灰岩地帯では浸食された石灰岩塊が抜け落ちるものもあるが災害の規模は小さい。

3.2.2 盛土法面の崩壊形態

盛土法面は片切片盛土が大部分であり、盛土材料には浸食を受けやすい土を使用し、また排水施設も不備である。表面水が法面を洗掘して表面崩壊をおこす浅い崩壊も各所に見られるが、降雨による地表水の影響だけでなく、地山からの浸透水のために地山と盛土の境界から崩壊が発生しているものが多い。この形態は各区间で発生しているがB-3が比較的多い。

3.3 法面崩壊の素因と誘因

3.3.1 素因

1) 地質

調査対象区間の崩壊発生箇所の大部分はM-6区間（ダルトン・パスの南方とバギオ高原周辺の山系）に見られる。

M-6区間を構成している地質は中生代白亜紀花崗岩、閃緑岩、古第三紀上部から新第三紀下部の輝緑岩、安山岩および新第三紀の砂岩、泥岩、石灰岩であり、バギオ周辺の3ルートはいずれも新第三紀中新世の砂岩、礫岩、泥岩、凝灰岩、凝灰角礫岩、石灰岩とそれらに貫入した花崗閃緑岩、安山岩とこれらを不整合に覆った未固結の第四紀洪積世の段丘砂礫、第四紀沖積世の砂、礫、粘土、崖錐堆積物などである。

基盤岩の上部には発達した強風化土砂層があるが、石灰岩、泥岩の分布地域では赤色風化土であり、ダルトン・パス北部の花崗岩地域は強風化マサ土となっている。

これらの地質のうち古第三紀以降の地質に災害の発生が多い。

上記の地域はいずれもフィリピン断層の二次断層の周辺にあたり、岩石は断層、高温、多雨などのために風化が進行している。

崩壊した法面を見ると、礫混じり土砂が最も多く砂質土と併せると約66%を占めており、このような砂礫質のものは薄く堆積して小さな外因的作用によって基盤との境界から崩壊する。

岩石の風化によって出来た粘性土法面は、のり高、勾配に関係なく崩壊し、すべり層厚も5mに及んでいる。また、石灰岩の変質によって出来たと思われる赤色風化土も同様の崩壊を起している。

岩石で構成された法面は、礫岩、砂岩や閃緑岩の硬岩の場合は新鮮あるいは弱風化であって安定しているが、礫岩、砂岩が頁岩、泥岩、凝灰岩などと互層を成して分布している地域では層理面が発達し、流れ盤地域では層理からのはく離、はく落が生じている。また閃緑岩などの火成岩は不規則な節理、亀裂が発達し落石や表層崩落が発生している。不規則な亀裂や層理が流れ盤をなして、層理面が発達している地域では風化が促進され、一部粘土化して層理面すべりを誘発する可能性がある。

2) 法面形状

調査の集計結果から見ると、法面形状としては直線型の平面形状と逆S型の断面形状の場合に崩壊が多く見られる。

岩石で構成された法面からの落石は多くは30～50mの高さから崩落している。また落石法面の形状は切土法面と異なり谷型の平面形状が多く、また、断面形状においても凹型斜面や直線型斜面に多く、逆S型斜面では発生していない。このことは地表水が集中しやすい地形で落石が多いことを示していると考えられる。

3.3.2 誘因

法面災害発生の誘因のほとんどが降雨である。特にバギオ周辺では1986年に連続雨量1,320mm、日雨量958mmを観測し、これは1911年の日雨量1,168mmの世界記録に匹敵するような豪雨である。

災害は台風に伴う集中豪雨によることが多く、最大時間雨量を見ると30～70mmで発生し、連続雨量が150mmを超えると急激に増加している。また、崩壊までの連続降雨時間は40時間以内と推定される。

降雨から発生するものに地下水と地表水がある。地下水は間隙水圧を上昇させ、土のせん断抵抗を減じて崩壊させる。地表水は地形的に水の集まりやすい場所に流入して表層崩壊や落石を発生させている。

また、岩石地域の地表水は割れ目より侵入し、ある一定の高さから多量の地下水となって湧出している。これは岩石の割れ目の開口を促進させ、風化の速度を早める要因となっている。

3.4 モデル法面の詳細調査の分析

詳細調査の結果を1)浅い切土崩壊、2)深い切土崩壊、3)落石、および岩石の浅い崩壊、4)盛土崩壊、5)地すべりに分けて分析した。浅い切土崩壊は、推定すべり面までの深さが現地形から約5m程度以内のものとした。

なお、モデル法面の詳細調査で実施した土質試験、岩石試験の結果は各地点の項に記載したが、一覧表として表-3.1、表-3.2にそれぞれ示した。また図-3.22に岩石の吸水膨張率と吸水時間の関係を表した。

3.4.1 浅い切土崩壊

対象となった切土斜面はM-6のkm196+050、205+000とB-2のkm279+300の3ヵ所である。それぞれの地点の特徴は次のとおりである。

1) M-6のkm196+050地点

崩壊と同一斜面の切土は現在は安定していて、斜面勾配は約40°で斜面は崩壊地と同じ土砂化した火山碎屑物である。

崩壊は後背地に滑落崖が生じていることから、急勾配切土による崩壊ではなく、後背地の固結度の低い地層のうち、上部の風化の進んだ土の部分から豪雨により崩壊したと推定される。

表-3.1 土質試験結果一覧表

試料番号 No			B-2 259+500	B-1 247+800	B-3 297+030	M-6 205÷0001
採取深度 (m)						
試料観察					Brown Sandy Silty CLAY	Brownsh olive Silty CLAY
基本性質	自然含水比 ω (%)		50	49	36	22
	土粒子の比重 G_s		2.63	2.62	2.61	2.65
	湿潤密度 γ_s (g/cm ³)				1.52	2.04
	乾燥密度 γ_d (g/cm ³)					
	間隙比 e					
	飽和度 S_r (%)					
粒度	配合	礫分 (%)	0	0	0	0
		砂分 (%)	38	20	17	27
		シルト分 (%)	42	38	41	37
		粘土分 (%)	20	42	42	36
	最大径 (mm)		0.42	0.85	0.42	0.42
	60%径 D_{60} (mm)		0.065	0.018	0.014	0.027
	30%径 D_{30} (mm)		0.012	0.0025	0.0027	0.0031
	10%径 (有効径) D_{10} (mm)		0.002	0.0014	0.0025	
	均等係数 U_c		32.5	12.9	5.6	
	曲率係数 U_c'		1.1	0.25	0.21	
	日本統一土質分類名		CH	CH	CH	CH
	コンシステンシー	液性限界 L_L (%)		67	76	90
塑性限界 P_L (%)		28	31	35	33	
塑性指数 P_I		39	45	55	31	
収縮限界 S_L (%)						
I_C		0.44	0.6	0.98	1.35	
透水係数 (定・変) K (cm/sec)						
突固め	最適含水比 ω_{opt} (%)					
	最高密度 γ_{dmax} (g/cm ³)					
剪断強度	一軸圧縮	圧縮強度 q_u (kg/cm ²)			0.2172	0.5967
		鋭敏比 S_t				
		変形係数 E_{30}			0.13	0.15
		粘着力 C (kg/cm ²)				
		内部摩擦角 ϕ°				
		粘着力 C (kg/cm ²)				
圧密	初期間隙比 e_0					
	圧密降伏応力 P_c (kg/cm ²)					
	圧縮指数 C_c					
	圧密係数 C_v (cm ² /min)					
	体積圧縮係数 m_v (cm ² /kg)					
	透水係数 k (cm/min)					
PH			5.58	5.30	5.45	3.50

表-3.2 岩石試驗結果一覽表

Region	Section	Spot No.	Km Post	岩 石 名	比 重 (g/cm^3)	含水比 (%)	吸水率 (%)	含水率 (%)	有効間 率 (%)	飽和度	単位体 積重量 (g/cm^3)	超音波速度 (m/sec)		動ボア ソン比	一軸圧 縮強度 (K/cm^2)
												縦波	横波		
III	M-6	III-64	203+100	風化輝綠岩	2.28	4.92	5.52	10.7	12.0	89.2					
"	"	III-12	170+800	風化輝綠岩	2.28	6.79	7.50	14.5	16.0	90.6	2.257	1.60	0.913	0.258	23.6
I	B-1	1K-38	239+700	石灰岩	2.71	0.321	0.344	0.867	0.928	93.4	2.701	4.19	2.31	0.282	587
"	"	1K-28	236+950	閃綠岩	2.69	1.14	1.56	3.02	4.15	72.8	2.596	3.44	1.94	0.267	759
"	B-2	1M-7	248+600	泥 岩	1.81	9.56	16.0	15.8	26.5	59.6					
"	"	"	"	砂 岩	2.09	6.13	11.0	12.1	21.5	56.3	2.157	0.97	0.562	0.247	118
"	"	1M-51	274+850	礫 岩	2.61	2.73	2.84	6.95	7.23	96.1	2.584	3.07	1.66	0.293	409
"	"	1M-70	278+000	風化礫岩	2.23	6.67	10.5	13.9	21.9	63.5	2.276	0.969	0.567	0.24	65.2
"	B-3	1N-3-1	276+100	風化粗面岩	1.22	24.0	43.4	23.7	42.8	55.4	1.287	0.617	0.354	0.255	4.22
IV-A	M-10	IVA-4	153+400	凝灰質砂岩	2.66	0.879	1.03	2.31	2.72	84.9	2.653	3.37	1.80	0.3	908

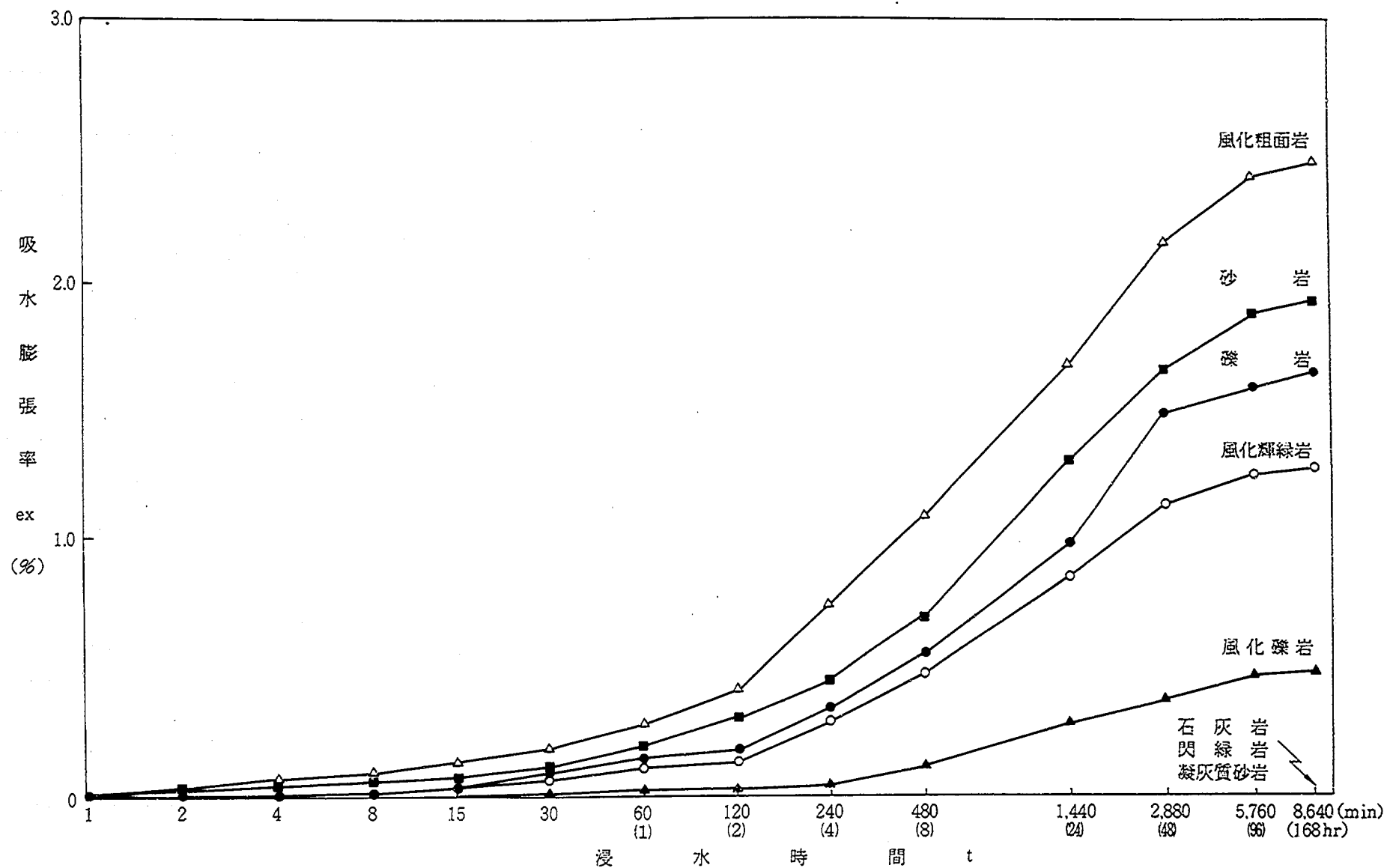


図-3.22 浸水時間と吸水膨張率

2) M-6 の km205+000 の地点

選定した現道は曲線半径の小さい凸カーブであり、尾根状地形を高さ15m、勾配45°に切土して作られている。崩壊はカーブから約50mの地点で発生しているが、法面の中央部から現道に至る部分には変化がなく、滑落崖が崖錐堆積物中に発生しているところから、崩壊は基盤との境界をすべり面として発生したと考えられる。また法面下方には湧水が認められていることから、将来これが誘因となり強風化層の中でも崩壊が発生する可能性がある。

土質試験の結果では砂分が少なくシルト、粘土分が70%であるが、コンシステンシー指数は1.35を示し、乾燥により崩れやすい状態になるものと思われる。また湿潤密度は 2.04 g/cm^3 と高い値を示し、岩石に近い値である。しかし、一軸圧縮強度は 0.59 kg/cm^2 と小さい。

弾性波速度は $400 \sim 600 \text{ m/s}$ と遅いが、要領の項で述べたようにこの方法では20~30%測定値が遅くであることもあるために、修正すると $500 \sim 800 \text{ m/s}$ と非常に風化した値となり、地山速度と法勾配の関係でも不安定領域に入る。従って現道の安定している斜面も崩壊の可能性が考えられる。

想定すべり面よりすべり土塊強度を逆算により算出した結果、すべり面深さを4.5mとした場合、

$$C = 0.45 \text{ t/m}^2 \quad \phi = 14 \sim 20^\circ$$

となる。

3) B-2 の km279+300 地点

切土は周辺の地形から約60°で行われたと推定されるが、このような粘性土層は長雨や豪雨によってクリップ現象を生じ、一種の地すべりの崩壊が発生する可能性があり、これに加えて法面下部の切り取りによりいっそう法面を不安定にしたと思われる。すべりはこの旧崩壊地の中で発生したと思われ、隣接の大崩壊から見て基盤と崩壊土の境から再び崩壊する可能性がある。

以上の3地点をとりまとめて、浅い切土崩壊を分析すると次のように考えられる。

選定した調査地の崩壊発生位置は全て法肩後方からすべり出していて、切土勾配に関係なく道路から斜距離にして30~35mで発生している点が注目される。

しかも法肩後方の地形が $10 \sim 20^\circ$ の緩斜面であるために多雨による表面水が地下に浸透しやすく、地下水位を上昇させて地山を不安定にしている。

崩壊土塊の簡易貫入試験値は $10 < N_c < 20 \sim 30$ であり、土塊強度はすべり面までの深さの $1/10$ を粘着力Cとすると $C = 0.45 \sim 0.5 \text{ t/m}^2$ 、 $\phi = 15 \sim 30^\circ$ となる。

M-6に多く存在する輝緑岩について乾湿繰返し試験と吸水膨張率を測定した。繰返し試験では2サイクルで泥状化したが、吸水膨張率は砂岩や風化礫岩、風化粗面岩より低い値を示している。

M-6 km205+000のように粘土鉱物を含有する岩石では法肩上方のみにすべりが発生し、災害の規模は小さいが、火山砕屑物などの礫質土は法面中央部までおよんで規模は中程度である。

3.4.2 深い切土崩壊

対象となった切土法面はB-2のkm259+200、266+100の2ヵ所であった。それぞれの地点の特徴は次

の通りである。

1) B-2 のkm259+200地点

崩壊は切土の後背地からおこっていると考えられるが、馬の背の調査結果では0～4 mまでは N_c は10以下であり斜面全体はほとんど粘土化している。この土塊の強度を逆算式で推定すると、

$$C = 0.8 \text{ t/m}^2$$

$$\phi = 17^\circ$$

となり、盛土直後でも安全率1.0前後の不安定な状態であったと推定され、末端部がカットされているのに加えて、その後の豪雨による地表水が後背地から浸透し、間隙水圧を上昇させて崩壊したものと考えられる。

2) B-2 のkm266+100地点

現地の状況から推定すると、崩壊は山腹上部から地表水が地下に浸透し、砂岩、頁岩の互層上面から斜面に湧出し、その部分から崩壊が発生し上部の堆積土砂が崩落したものと考えられる。図-3.23は推定断面図である。

以上の2地点から深い切土崩壊を分析すると次のように考えられる。

両地点とも切土以前の地形は 30° 前後のゆるやかな斜面であり、この斜面を勾配 $50 \sim 60^\circ$ 高さ5～10mで切土したと思われる。

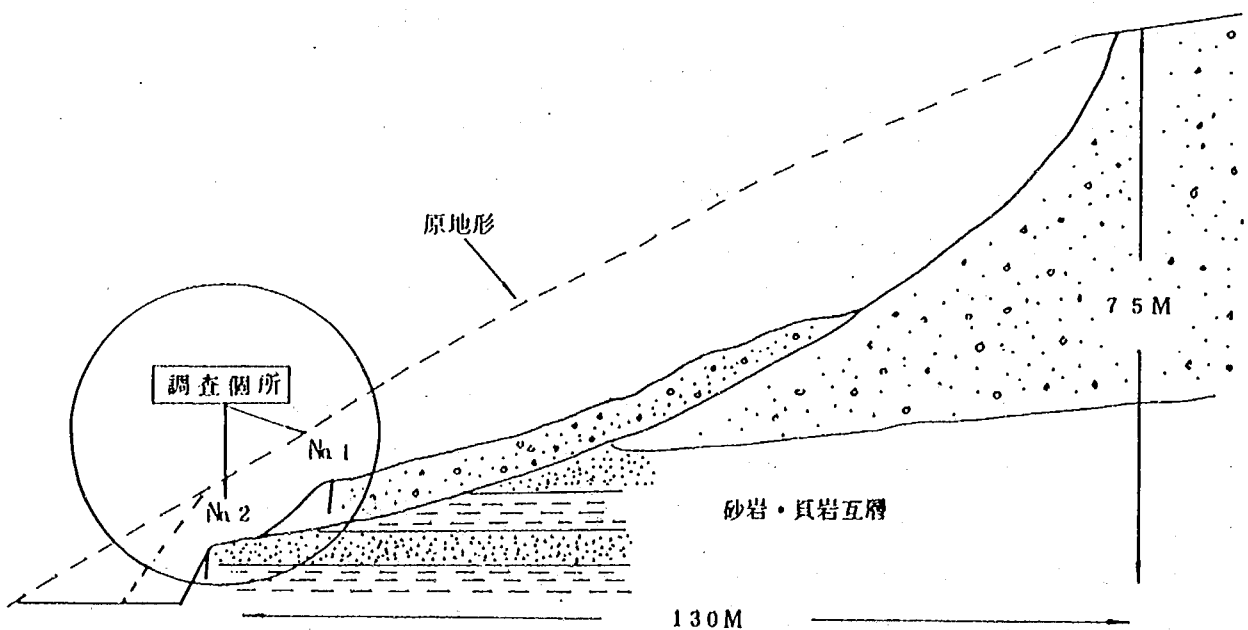


図-3.23

地質は新第三紀の砂岩・頁岩および泥岩で、崩壊はいずれも斜面の頂部から発生しているのが特徴である。

砂岩、頁岩などの互層では、強度、透水性の異なる層に地表水などの浸透によってすべり面を作り、法肩から深い崩壊が発生している。

崩壊土がその下盤である岩盤の風化帯を境界面としてすべった現場においては、湧水が法面下方に認められる。

泥岩、砂岩の試験結果は、一般的な値を示しているが泥岩の見掛け比重が1.81と低いのが目立つ。また、砂岩の縦波伝播速度も一軸圧縮との関係では小さい。また乾湿繰返し試験結果では両岩ともに3サイクルで泥状化し、砂岩について吸水膨張率を測定した結果では極めて高い吸水膨張特性を有している。

この結果から必ずしも頁岩、泥岩のみからの崩壊でなく砂岩でもすべり面を作る可能性があることがわかる。

3.4.3 落石および岩石の浅い崩壊

今回調査した落石は抜け落ち型落石でなく、岩盤の亀裂などによるはく離型落石を対象とした。

対象とした岩石は砂岩、安山岩質角礫凝灰岩および閃緑岩である。

砂岩は層理面の顕著なものは2)で述べたように深い崩壊を起す場合が多く、小亀裂の発達していて層厚の厚いものは「クサビ状」に大きな岩塊となって落下している。

角礫凝灰岩も砂岩と同じくクサビ状に落下しているが、大部分ははく離型で表層崩壊である。

この両岩とも勾配は50～80°で切土されて高さも25～35mであるが、落石は法面の上方に多い。

B-1で落石の多い閃緑岩は亀裂が無方向であり、開口が進行して粘土を挟んでいるが、大崩壊には至っていない。

閃緑岩の地山の弾性波速度から亀裂係数を算出すると、落石の多い箇所では0.66～0.9であり、分類から見ると「やや悪い」「悪い」の等級に入っている。

閃緑岩について乾湿繰返し試験と吸水膨張試験を行ったが、吸水膨張は認められなかった。

調査箇所の法面では大部分の箇所で湧水が認められ、しかも道路から約5～10mの高さの位置から湧出していることが注目される。また、その湧出量も多い。

詳細調査対象以外の礫岩は未風化、風化の2種について乾湿繰返し試験と吸水膨張試験を行ったが、いずれも礫岩では3サイクルで泥状化し、吸水膨張率も高い特性を示し、当該地が岩石の浅層崩壊地であることの一要素と考えられる。しかし岩石試験結果では、未風化礫岩の値は良好な値を示している点について一考を要すると思われる。

3.4.4 盛土崩壊

盛土については1ヵ所のみ調査であり、また施工時の詳細な資料が無いため、盛土部全般についての一般的傾向を述べることは出来ない。

土質試験を行った試料を一応盛土材として検討したが盛土材料として悪い材料を使用していないことを考えると、崩壊の原因としては設計、施工に問題があると思われる。フィリピンのように多雨の地域においては、特に排水対策が不十分な場合、崩壊を起すことは十分考えられる。

3.4.5 地すべり

調査対象区間において過去に大きな地すべりが発生した箇所は1～2箇所である。盛土箇所と同じく1ヵ所のみ調査であるが、当該箇所の土質試験値は不安定な土塊の値を示し、なお変動を起す可能性がある。地すべり調査は長期間の観測が必要であるので調査結果のみを・・・に記載した。

3.5 災害発生と降雨

昭和61年7月8～10日にバギオ地域を通過した台風ガディング(Gading)に伴う集中豪雨により法面崩壊が多発したことから、降雨量と法面崩壊との関係を検討することとした。

すでに資料収集の項でも明らかなように、比較的良好な降雨データの収集されている観測ステーションがケノン道路とナギリアン道路であることから、この両地区に重点をおいた。

3.5.1 降雨量と法面崩壊との関係

ケノン道路およびナギリアン道路における崩壊スポットの崩壊発生日を「災害発生の概要」(Summary of Disaster Occured)から選択し、降雨時間とその連続雨量、および崩壊日も含めた前1週間の降雨量を観測データから求めた。一方、法面に影響を与えなかった台風通過時の降雨時間と連続雨量を同様に観測データから求め、表-3.3に示した。表-3.4には平均時間強度と最大時間降雨強度も示した。なお連続雨量と次の連続雨量との間には、少なくとも1.0mm以下の時間降雨量が最低5時間は存在するものとした。

このデータから図-3.24～図-3.26に示すような降雨時間と連続雨量および平均時間降雨強度と連続雨量また最大時間降雨強度と連続雨量との関係をプロットし、危険降雨領域と安定降雨領域とに区分した。

図-3.24～図-3.26から次のことが考えられる。

- ・降雨時間と連続雨量との関係では短時間で120mm以上の降雨量がある場合は法面崩壊の危険性が生ずる。また、降雨強度が弱くても降雨時間が長く、その連続雨量が200mm程度に達すると崩壊を発生する危険性が生ずることとなる。
- ・時間降雨強度と連続雨量との関係では、時間降雨強度が弱くても連続雨量が200mm程度で法面崩壊の危険性がある。逆に時間降雨強度が大きくなると連続雨量が120mm程度でも崩壊の危険性が生ずることとなり、降雨時間～連続雨量の関係と同様な結果を示している。以上の点から、連続雨量150mmが崩壊、非崩壊の1つの目安となると考えられる。
- ・崩壊時の連続雨量も含めた前1週間の総雨量は表-3.5からみても明らかなように非常に少なく、法面崩壊との関係は見られない。

従って、台風に伴う集中豪雨により大部分の法面で災害が発生しており、また、時間降雨強度、連続降

表-3.3 台風に伴う連続雨量, 降雨時間および前1週間の総雨量

	Name of Typhoon	Date Occured	Kennon Road				Naguillian Road			
			Rainfall mm	Time H	Rainfall (mm/H) Time	※ OneWeek mm	Rainfall mm	Time H	Rainfall (mm/H) Time	※ OneWeek mm
Damage	Miling	Sept. 3. 85	155.7	17	9.16		125.0	5	25.00	139.8
	Luming	Aug. 27. 85	281.0	24	11.70		223.0	37	6.03	652.0
	Kuring	Jun. 22. 85	562.8	31	18.15	632.9	421.0	32	13.15	569.0
	Maring	Aug. . . 84								
	Gading	July. 9. 86	1,093.0	39	28.00	1,139.5	1,040.5	38	27.38	1,269.0
	Daling	July. 30. 85	513.4	49	10.47	616.2	527.0	39	13.51	628.0
	Lbiang	Aug. 22. 85	194.9	27	7.22	274.6	190.5	19	10.00	388.5
	"	Aug. 20. 85					96.5	12	8.04	204.0
	Elang	July. 6. 85	22.0	5	4.40	261.0	15.0	5	3.00	97.5
	Huling	Aug. 12. 85	157.5	46	3.42	224.7	191.8	41	4.60	288.3
Non Damage	Saling	Oct. 19. 85	167.8	24	6.98	173.8	26.0	5	5.20	51.0
	Tasing	Oct. 26. 85	63.8	12	5.30	184.2	47.0	3	15.70	60.5
	Goring	July. 27. 85	19.0	2	9.50	58.1	121.3	4	30.30	164.8
	Pining	Sept. 29. 85					29.5	4	7.38	33.0
		May. 30. 85	10.0	7	1.43	57.6	14.5	6	2.40	122.0
		July. 15. 85	4.8	2	2.40	42.8	0	0	0	17.3
		Aug. 5. 85	23.8	4	5.95	67.3	8.5	6	1.40	160.0
		May. 25. 86	63.5	20	3.18	178.5	79.5	13	6.11	15.0
		May. 28. 85					91.5	9	10.16	121.0
		JUN. 27. 86					179.0	6	29.80	258.5

※One Week: 崩壊時の降雨量も含めた前1週間の総雨量

表-3.4 平均, 最大時間降雨強度

	Name of Typhoon	Kennon Road				Nagullian Road			
		連統雨量	降雨時間	時間降雨強度		連統雨量	降雨時間	時間降雨強度	
				平 均	最 大			平 均	最 大
D a m a s c e	Kuring	562.8	31	18.15	44.0	421.0	32	13.15	35.0
	Daling	513.4	49	10.47	29.5	527.0	39	13.51	51.5
	Ibiang	194.9	27	7.22	46.0	190.5	19	10.00	42.0
	Luming	281.0	24	11.70	61.0	223.0	37	6.03	59.25
	Miling	155.7	17	9.16	38.7	125.0	5	25.00	54.0
	Gadling	1093.0	39	28.0	69.0	1040.0	38	27.38	56.0
N o n D a m a s c e	May 28, 85					91.5	9	10.20	37.5
	Elang	22.0	5	4.40	7.0	15.0	5	3.00	5.0
	Goring	19.0	2	9.50	15.0	121.3	4	30.30	74.5
	Huling	157.5	46	3.42	11.0	191.8	41	4.60	13.5
	Saling	167.8	24	6.98	13.5	26.0	5	5.20	16.0
	Pining					29.5	4	7.62	14.0
	Tasing	63.8	12	5.30	8.5	47.0	3	15.70	10.0
	May 25, 86	63.5	20	3.18	8.0	79.5	13	6.11	15.0
	June 27, 86					179.0	6	29.80	77.5

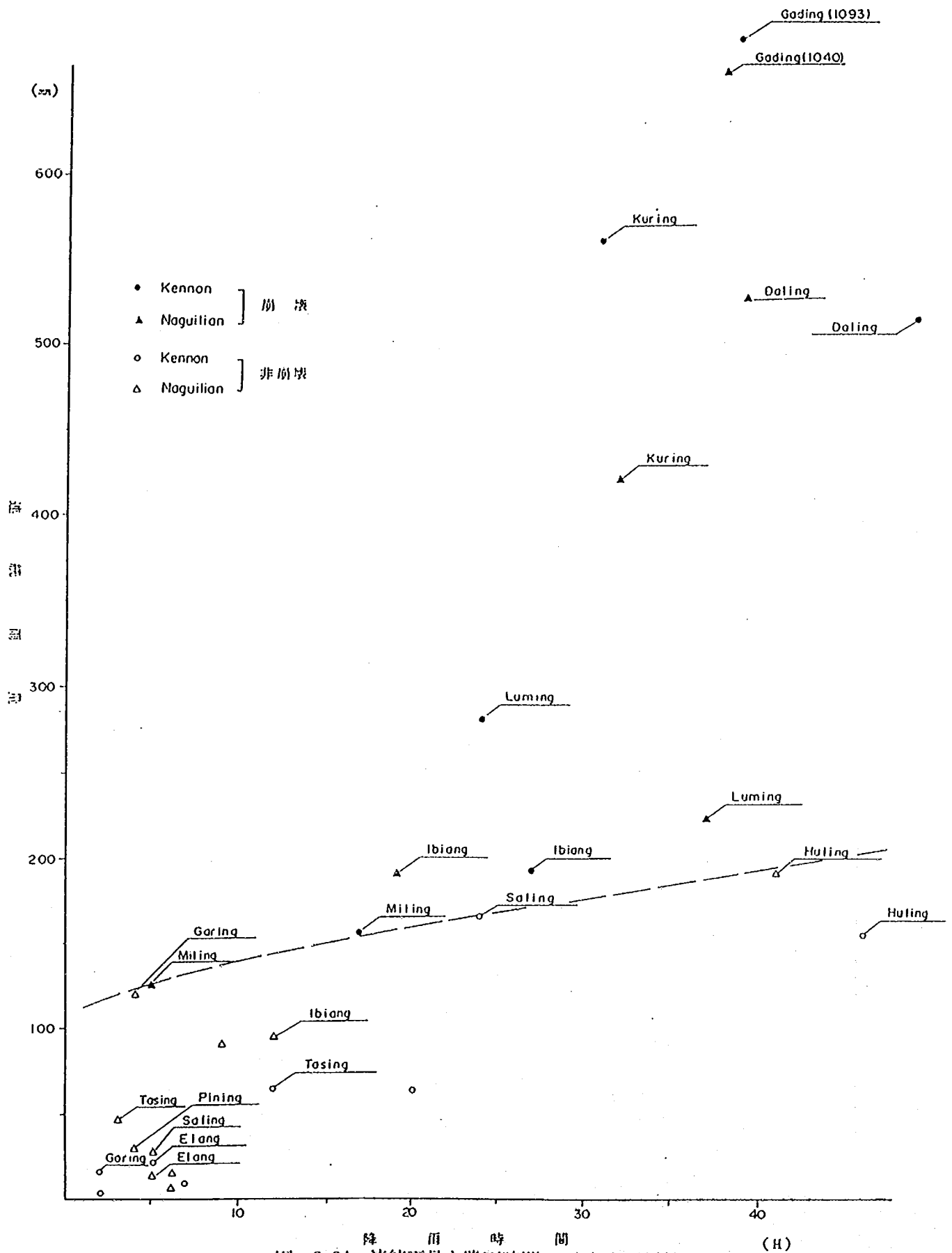


図-3.24 連続雨量と降雨時間 (バギオ地域)

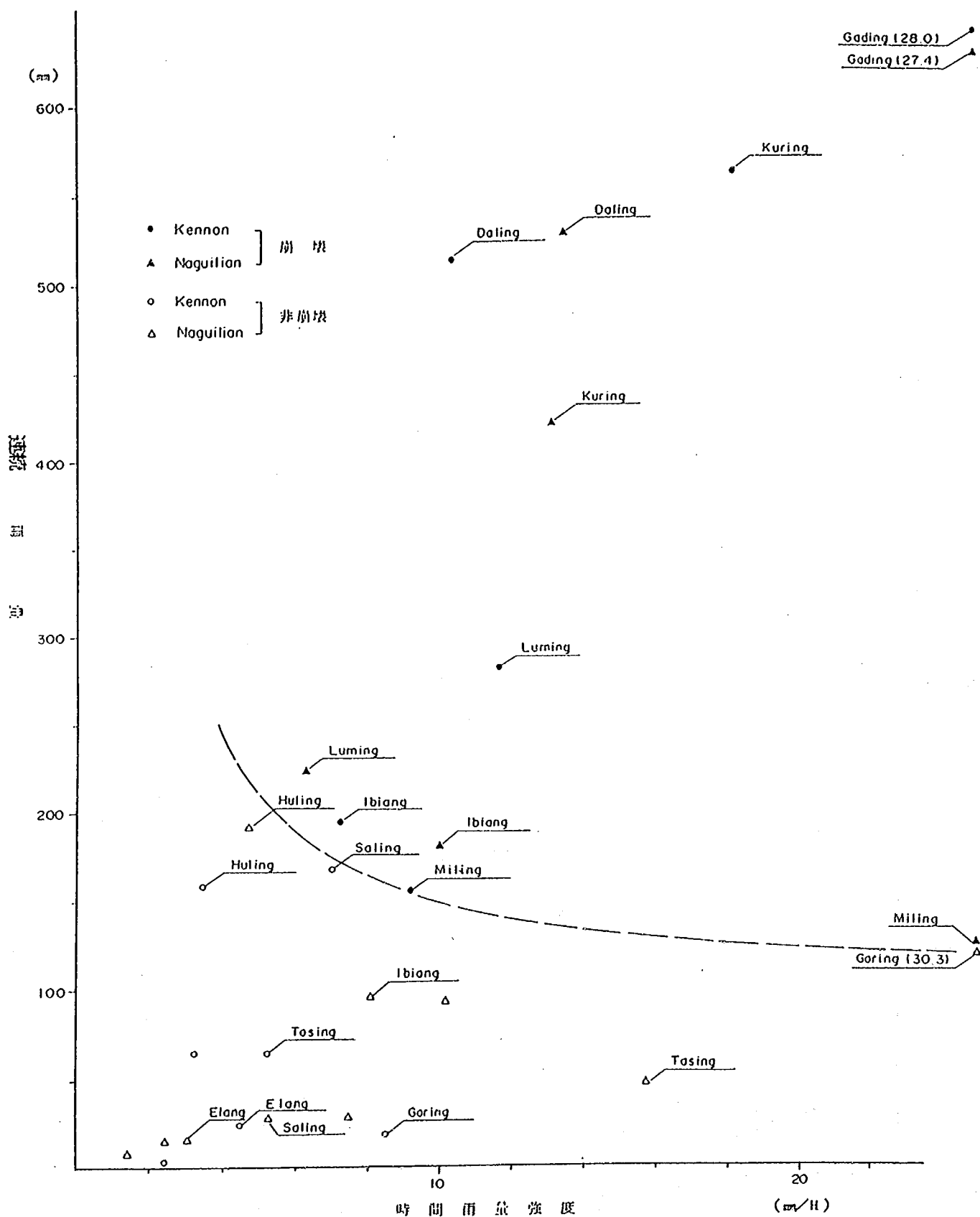


図-3.25 連続雨量と平均時間降雨強度 (バギオ地域)

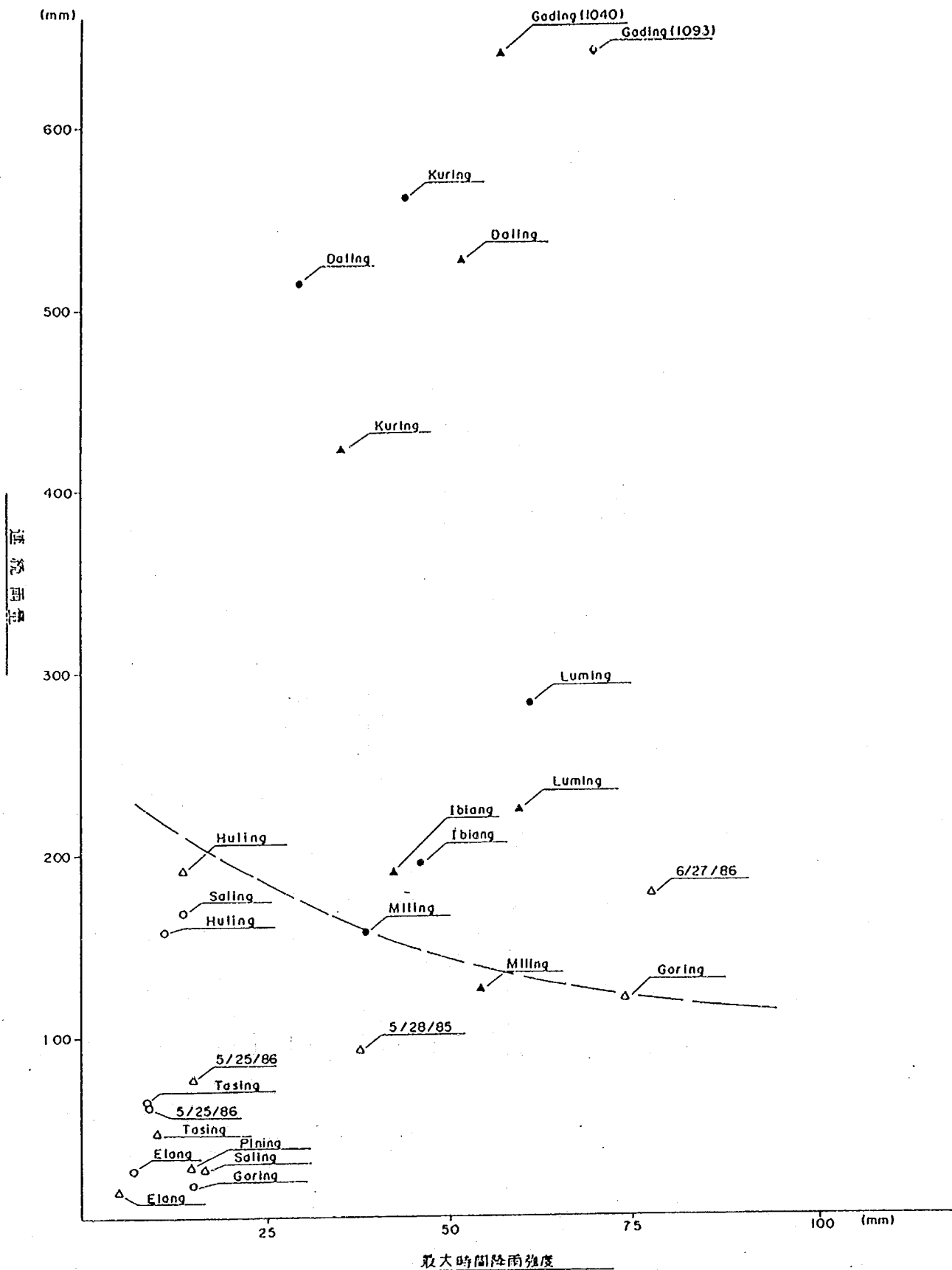


図-3.26 連続雨量と最大時間降雨強度 (バギオ地域)

表-3.5 日本の降雨に対する通行規制基準雨量 (区間数)

S61.4

連続雨量 mm	北海道	東北	関東	北陸	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄	
50	1										1
60	5										5
70	5										5
80	12										12
90											
100	5			2							7
110				2							2
120				2	3						5
130			5		3						8
140				1							1
150		12	15	8	7	4	4	1			51
160					1	6					7
170									1		1
180				8	2	2			1		13
190											
200			5		3	8	12		6		34
210						3					3
220						2					2
230						3	3				6
240						2					2
250					4	8	7	10	2	3	34
260											
270											
280											
290											
300					3	1		3			7
	28	12	25	23	26	39	26	14	10	3	206

出典:土木研究所

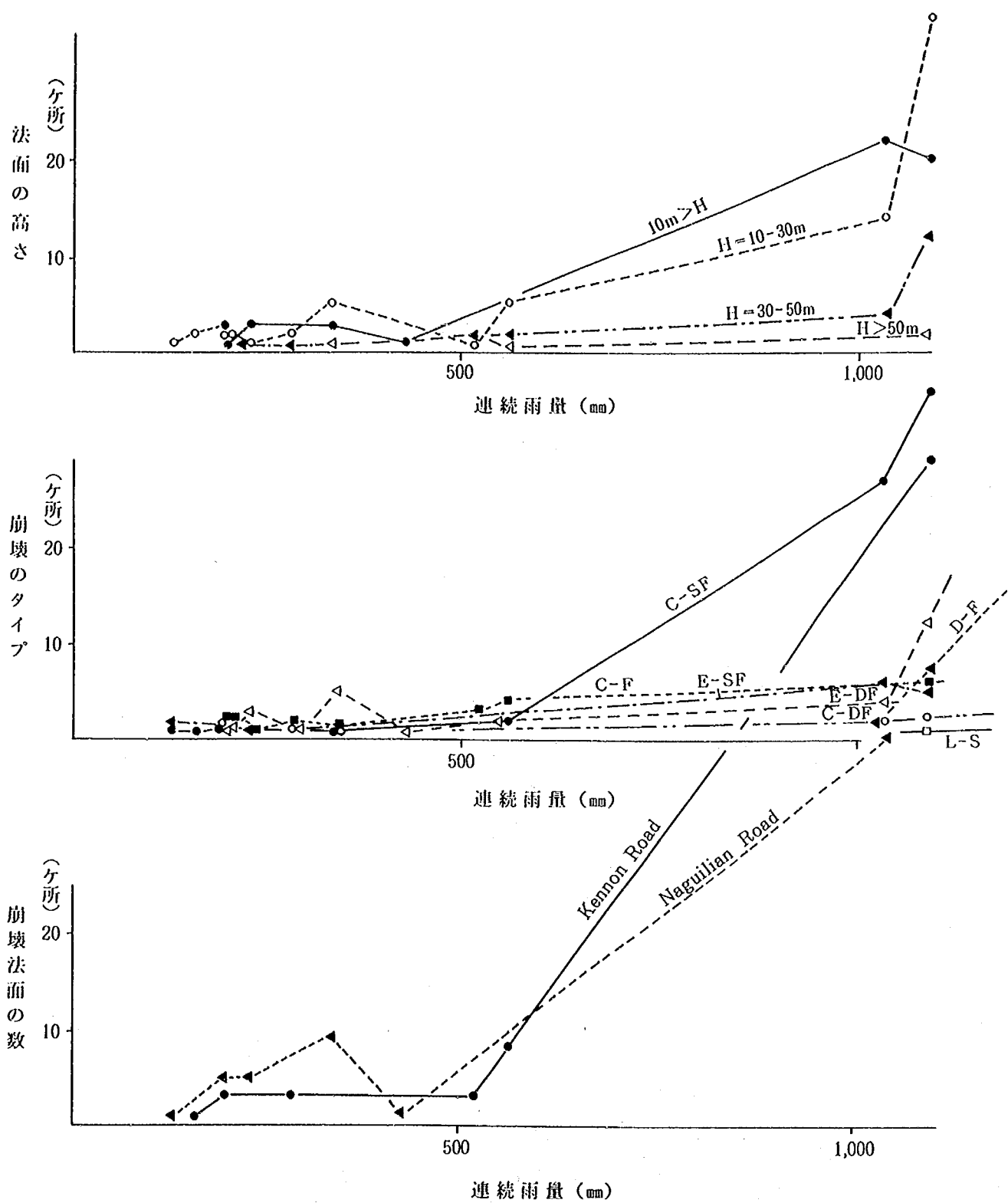


図- 3.27 降雨量と崩壊 (1)

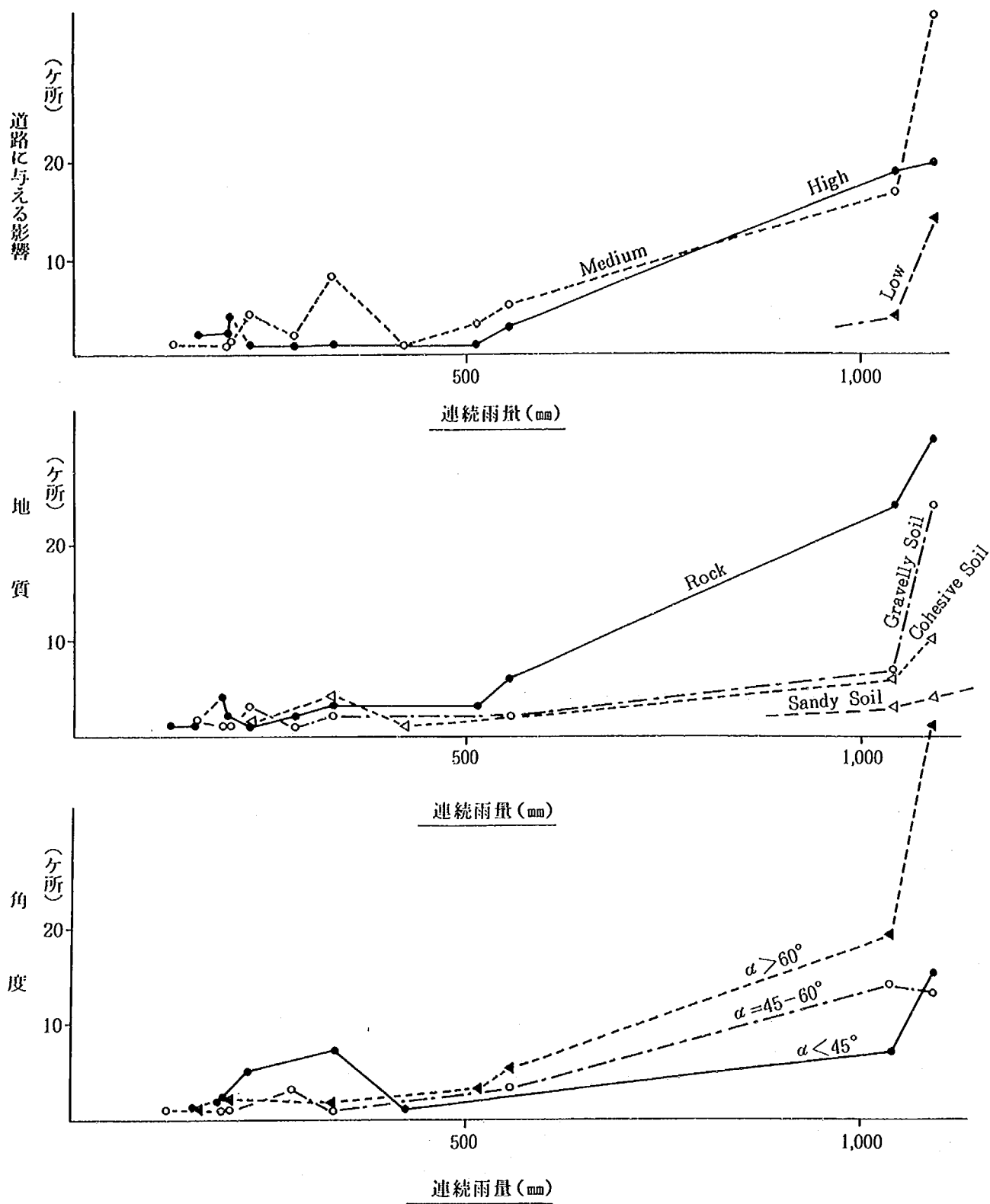
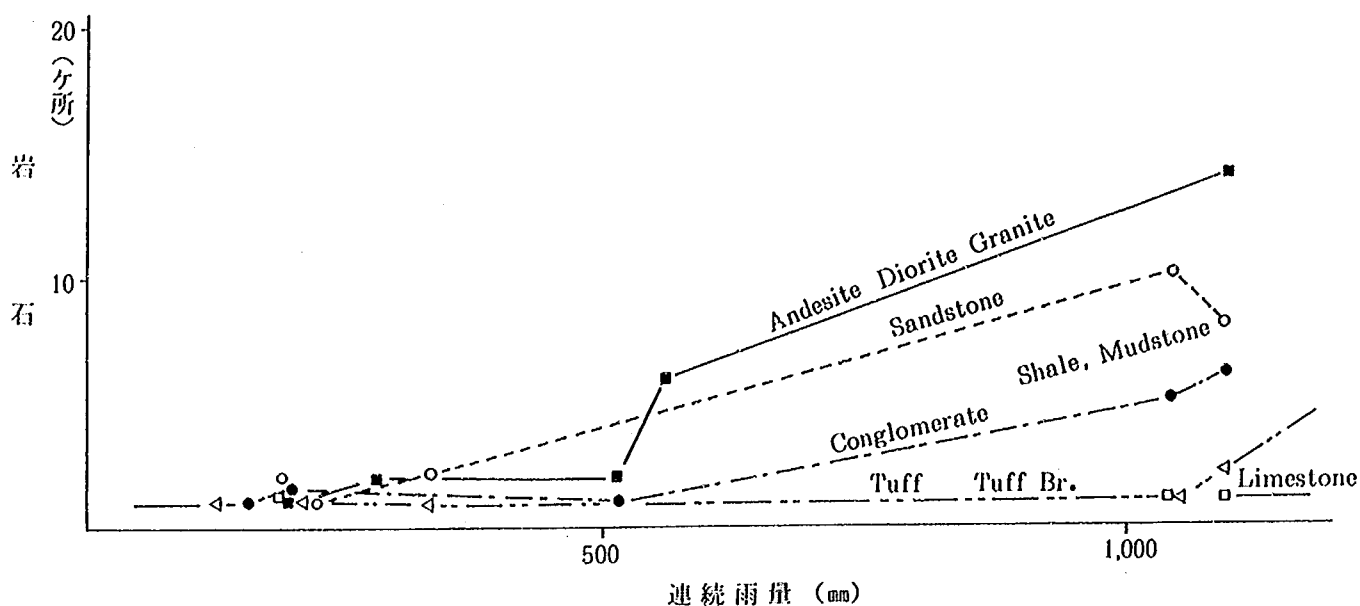


図-- 3.28 降雨量と崩壊 (2)



図一 3.29 降雨量と崩壊 (3)

雨時間および連続雨量と崩壊との間に関連性がみられることから、降雨が最も大きな誘因と考えられる。

これらの関係はケノン道路およびナギリアン道路で観測したデータをもとにして作成したものであり、他のすべての区域を満足するとはいえない。従って、今後各路線、各区間ごとに追跡調査を実施し、データの集積を図る必要がある。

3.5.2 降雨からみた崩壊法面の集計

崩壊時の連続雨量と崩壊のタイプ、法面の高さ、角度、地質および道路に与える影響との関係をケノン道路とナギリアン道路について行い、その結果を図一3.27～図一3.29に示した。

この集計結果からみると、1000mmを超えると急激に崩壊が増加する傾向が認められる。

崩壊のタイプでは、切土法面の浅い崩壊が急増し、高さは $H < 10\text{m}$ 、勾配 $< 60^\circ$ の法面での崩壊が多発している。

法面の岩質では軟岩、硬岩からなる岩盤で崩壊が増し、安山岩、閃緑岩などの火成岩での崩壊の発生が多くなっている。

第4章 調査結果の分析

一般的に法面災害を引き起こす原因は、法面の高さや勾配、地質などのように法面自らが持っている特徴に起因するもの（素因）と、気象条件などのような外的な要因（誘因）とに分けることができる。本章では、法面実態調査結果を統計的に分析することにより、法面災害の素因を明らかにする一方、降雨と災害の発生との関係进行分析することにより、誘因についての検討も行う。また、実際の法面崩壊はこれらの素因、誘因が複雑に結び付いて発生していると考えられるため、モデル法面の詳細調査結果をもとに災害発生のメカニズムについても分析を行う。

4.1 実態調査結果の分析

実態調査結果を統計的手法で分析することにより、災害が発生した斜面が特徴的に持っている要因を明らかにする。初めに各要因（調査項目）に対して災害が発生したサンプル群（カテゴリー）の度数分布と母集団の水準の度数分布を比較し、災害発生に寄与すると思われる要因の抽出を行った。抽出はカイ自乗検定法により各要因を独立的に分析して行ったが、法面災害は種々の要因の複雑な相互作用であるため、これを解析するにはその現象に関与していると考えられる多くの相互関係を考慮する必要がある。また、要因には高さや勾配のように定量的に表現されるものだけではなく、地質のように分類で表現される要因もある。従ってカイ自乗検定法によって抽出された要因を用いて数量化法による解析を行い、各要因・カテゴリーの災害発生に関わる度合いや要因間の関係などについての検討を行った。要因分析のフローを図-4.1に示す。

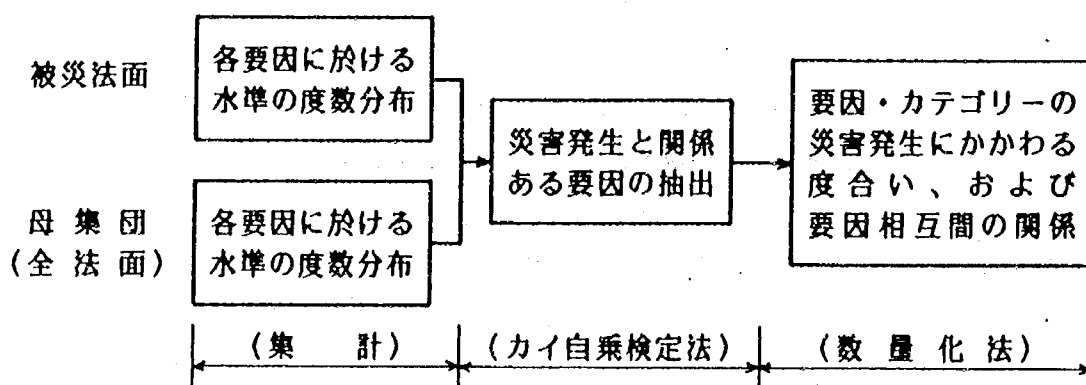


図-4.1 要因分析のフロー

4.1.1 分析に用いるサンプル

第2章で述べたように調査対象区間の574箇所の道路法面において延べ355回の災害が発生しているが、これらの災害の中には同じ法面で何回も発生したケースが数多くある。本章の解析では一度被災した斜面を次に起るであろう災害に対しての別のサンプルと考えたため、分析に用いたサンプルの母数は739個となる。また、355回の災害の中には規模が極めて小さいものが含まれているが、災害発生の素因、誘因などを分析する上で発生と非発生の特徴を際立たせるために、それら規模の小さい災害（崩壊土量が50m³未満の災害）は除外し、204回の災害を対象とした。

4.1.2 分析の対象とする法面災害

法面種類別、災害種類別サンプル数を表-4.1に示す。分析は災害や法面の種類に関係無く全対象法面の全災害を対象として行うとともに、災害種類別にも行う。災害種類の中で土石流、地すべりはサンプル数が少ないため分析の対象から外す。また、切土法面では深い崩壊が、そして盛土法面では浅い崩壊が少ないので、それぞれ浅い崩壊と深い崩壊とをまとめて切土法面崩壊と盛土法面崩壊という範疇分けにして分析を行う。従って、分析の対象とする法面災害は次の4種類である。

表-4.1 法面種類別、災害種類別サンプル数

災害種類		切土法面	自然法面	盛土法面	合 計
浅い崩壊	安定	275	12	19	306
	崩壊	75	4	6	85
	合計	350	16	25	391
深い崩壊	安定	16	4	62	82
	崩壊	18	1	54	73
	合計	34	5	116	155
落 石	安定	127	2	0	129
	崩壊	29	0	0	29
	合計	156	2	0	158
土 石 流	安定	0	11	0	11
	崩壊	0	12	0	12
	合計	0	23	0	23
地すべり	安定	1	4	0	5
	崩壊	4	0	1	5
	合計	5	4	1	10
そ の 他	安定	0	1	1	2
	崩壊	0	0	0	0
	合計	0	1	1	2
合 計	安定	419	34	82	535
	崩壊	126	17	61	204
	合計	545	51	143	739

- ①全種類の災害
- ②切土法面の崩壊
- ③落石
- ④盛土法面の崩壊

4.2 カイ自乗検定による要因の抽出

分析の対象とした要因は調査標 (INITIAL RECORD ON DISASTER SLOPE) の調査項目であり、各要因ごとの安定・崩壊を基準としたカテゴリーの度数分布に基づいたカイ自乗検定法による独立性の検定を行った。検定の結果、10%以下の有意水準（危険率）で有意差の認められる要因を災害発生に寄与する要因として抽出した。要因のカテゴリー分類は調査標の分類を用いたが、「法面の高さ」、「法面の勾配」、「地質構成」についてはカテゴリー分類を変えた検定も行った。検定結果を表-4.2に示す。

検定の結果、有意差の認められた要因について、各カテゴリーごとの被災率を比較することにより、災害の発生に寄与していると考えられるカテゴリーの検討を行った。なお、ここでの被災率（災害発生率）は次式の値を意味している。

$$\text{被災率 (\%)} = \frac{\text{被災した法面の数}}{\text{対象とした全法面の数}} \times 100$$

表-4.2 カイ自乗検定結果

All Types of Disaster				Cut Slope Failure			Rock Fall			Embankment Slope Failure		
I t e m	No. of Category	×2	Signifi- cant Level	No. of Category	×2	Signifi- cant Level	No. of Category	×2	Signifi- cant Level	No. of Category	×2	Signifi- cant Level
Slope Height	4	2.79	—	4	4.13	25.0%	4	14.77	1.0%	3 *a	0.28	—
	3 *a	2.76	—	3 *a	2.97	25.0%	3 *a	12.31	1.0%			
Slope Gradient	4	19.46	1.0%	4	1.78	—	4	1.43	—	3 *b	2.43	—
	3 *b	18.65	1.0%	3 *b	1.52	—	3 *b	0.97	—			
Slope Direction	8	5.01	—	8	4.01	—	8	7.73	—	8	3.98	—
Longitudinal Section	3	18.65	1.0%	3	14.83	1.0%	3	6.41	5.0%	3	0.09	—
Cross Section	5	25.67	1.0%	5	9.05	10.0%	5	8.97	10.0%	4 *h	3.46	—
B e r m	2	1.09	—	2	0.46	—	2	1.11	—	2	3.01	10.0%
E r o s i o n	3	38.47	1.0%	3	8.19	2.5%	3	18.50	1.0%	3	4.63	10.0%
Slope Protection	3	9.80	1.0%	3	5.51	10.0%	3	3.78	25.0%	3	0.15	—
Vegetation	3	3.28	25.0%	3	2.08	—	3	2.96	25.0%	3	0.12	—
G e o l o g y	7	30.05	1.0%	7	8.97	25.0%	4 *e	4.91	25.0%	6 *c	5.12	—
				6 *c	5.47	—	3 *f	4.35	25.0%	5 *d	5.12	—
				5 *d	5.12	—	2 *g	4.32	5.0%	4	5.12	25.0%
R o c k	N a m e	10	9.41	—	10	8.19	—	10	3.82	—		
	Weathering	3	2.29	—	3	1.52	—	3	0.31	—		
	Crack Condition	3	1.34	—	3	1.01	—	3	1.19	—		
	Crack Direction	3	7.30	5.0%	3	6.12	5.0%	3	6.93	5.0%		
G r a v . S o i l	Compactness	3	2.29	—	3	2.13	—			2 *i	3.76	10.0%
	Size of Gravel	4	0.86	—	4	0.36	—			4	2.77	—
	Shape of Gravel	2	1.07	—	2	0.82	—			2	1.84	25.0%
Soil Compactness	3	2.52	—	3	0.76	—				3	1.51	—
Surface Water	3	13.89	1.0%	3	2.20	—	3	7.59	2.5%	3	1.49	—
Ground Water	3	15.43	1.0%	3	1.22	—	3	3.28	25.0%	3	5.51	10.0%
Drainage Facilities	2	0.00	—	2	1.16	—	2	0.10	—	2	0.02	—

*a:1 ~10m
2.10m~30m
3.30m~

*d:1. ~45°
2. 45° ~60°
3. 60° ~

*c:1.Hard Rock
2.Soft Rock
3.Gravelly Soil
4.Sandy Soil
5.Cohesive Soil
6.Rock and Soil

*d:1.Rock
2.Gravelly Soil
3.Sandy Soil
4.Cohesive Soil
5.Rock and Soil

*e:1.Hard Rock
2.Soft Rock
3.H.Rock & Soil
4.S.Rock & Soil

*g:1.Hard Rock
2.Soft Rock

*f:1.Hard Rock
2.Soft Rock
3.Rock & Soil

*i:1.Slightly Loose
2.Loose

*h:1. ✓
2. ✓
3. ✓
4. ✓

4.2.1 全種類の災害

全種類の災害を対象とした場合、災害の発生に寄与すると考えられる要因は「法面の勾配」、「平面形状」、「断面形状」、「浸食の程度」、「法面保護の状況」、「地質構成」、「亀裂の方向」、「地表水の状態」および「地下水の状態」の9要因であった。各要因におけるカテゴリー別の被災率を図-4.2に示す。法面の勾配では60°～90°の勾配で被災率が最も高くなっており、勾配が緩くなるとともに低くなっている。60°～90°の勾配を持つ法面に比べてオーバー・ハングした法面での発生率が低いのは、オーバー・ハングした法面が比較的風化していない硬岩で構成されているためである。

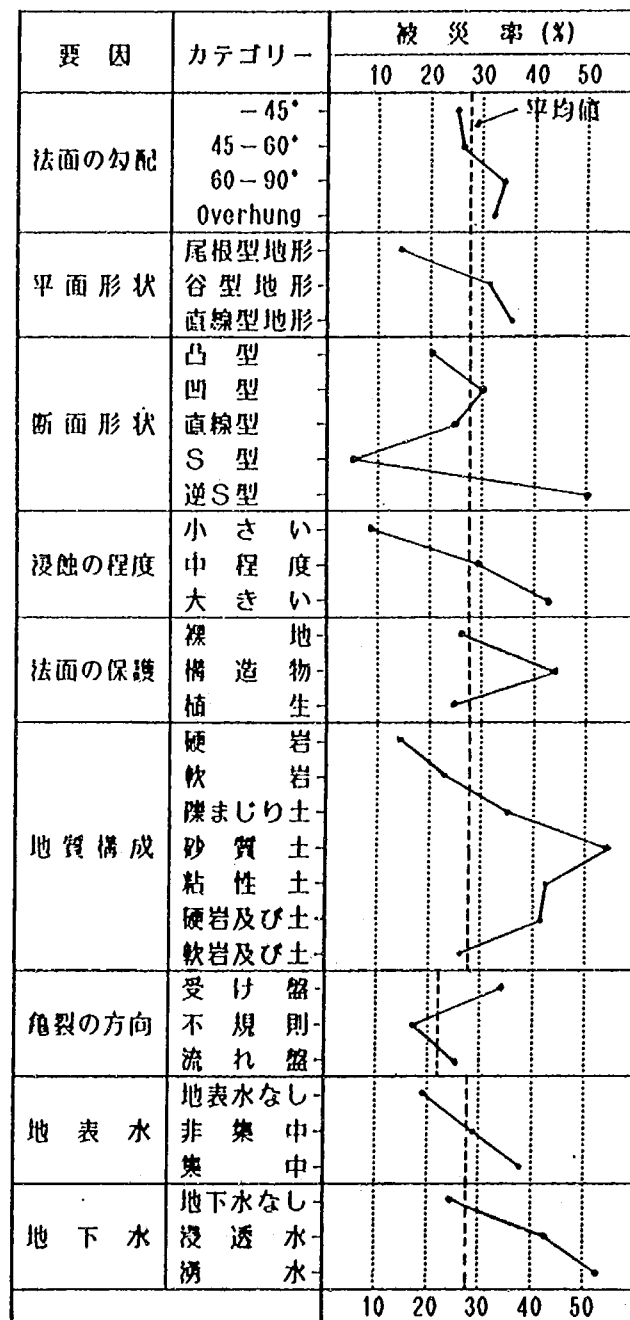


図-4.2 カテゴリー別被災率 (全種類の災害)

平面形状では直線部および地表水の集中しやすい谷型地形にある法面で被災率が高くなっており、尾根型の地形では低い。一方、断面形状では凸型と凹型を繰り返す逆S型の形状を持つ斜面での被災率が極めて高く50%となっている。次いで地表水が集中しやすい凹型の断面を持つ法面での被災率が高い。

浸食のあまりみられない法面での被災率は20%以下であるのに対し、浸食が激しい法面では40%以上となっており、浸食の程度が災害発生に大きく寄与していることが考えられる。

法面保護の状況では構造物の設置されている法面において被災率が最も高くなっているが、これは次の理由によるものと考えられる。

- ・切土法面に構築されている構造物は、長大法面の裾部に石積みまたはコンクリートで建設された土留壁であり、崩壊を起こしている中腹部やのり頭には何の保護工もない。
- ・盛土法面に構築されている構造物は石積工が中心であるが、被災履歴のある法面でも単に積み直すだけで排水施設などは設けられていない。このため2度3度と崩壊を繰り返している法面が少なくない。

以上のように、構造物が設置されている法面は災害危険度の高い長大法面や災害発生の可能性が高い被災履歴のある法面であるにもかかわらず、保護工としての役割を十分に果たさない構造物が設置されているにすぎない。このため「構造物の設置された法面ほど被災しやすい。」という常識的でない結果となっている。

また、ここでの植生はすべて自然植生であり、熱帯特有の根の浅い草や灌木が中心である。これらの植生で覆われた法面での災害発生率が裸地と変わらないことから、植生が保護工としての機能を果たしていないことがわかる。

地質構成については土砂類で構成されている法面での災害発生率が高い。特に砂質土の法面では54%という高い値を示している。一方、岩類で構成された法面の被災率は低く、硬岩では13%である。

岩の亀裂の方向では受け盤での被災率が最も高く、次いで流れ盤が高い。不規則な方向の亀裂が入った岩では災害の発生は少ない。

地表水が観察されない法面の被災率が19%であるのに対して、観察された法面の被災率は33%に上がる。特に、地表水が集中している場所では38%が被災しており、平面形状、断面形状の結果を裏付けている。

また、地下水が観察されていない法面の被災率は24%であるが、観察される法面での被災率は高く、湧水が観察される法面では半数以上で災害が発生しており、浸透水が観察される法面でも42%が被災している。

4.2.2 切土法面の崩壊

切土法面の崩壊・非崩壊に対して有意差が認められた要因は「平面形状」、「断面形状」、「浸食の程度」、「法面保護の状況」および「亀裂の方向」の5要因であった。それぞれの要因におけるカテゴリー別の被災率を図-4.3に示す。

平面形状の中で切土法面の崩壊の発生率が最も高いのは直線型形状を持った法面である。これは危険度の高い長大法面が直線部に多く分布しているためである。次いで谷型の地形部が高く、尾根型地形部は低

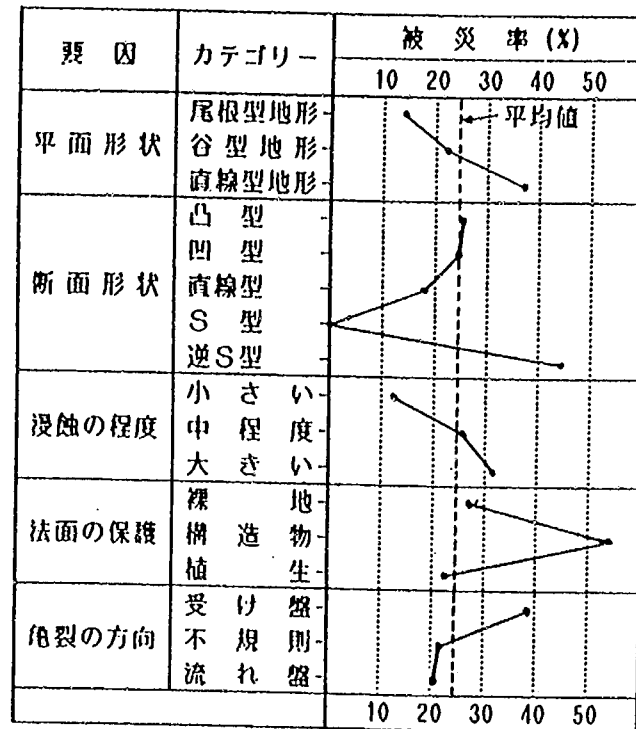


図-4.3 カテゴリー別被災率 (切土法面の崩壊)

い。断面形状および浸食の程度のカテゴリー別被災率の傾向は全種類の災害の場合とほぼ同じであり、「逆S型」と「浸食の程度が大きい」がそれぞれ高い被災率を示している。また、法面保護の状況についても全種類の災害の項で述べたように、保護工効果の薄い土留壁が設置された長大法面の中腹部またはのり頭で崩壊しているケースが多いため、構造物設置箇所での崩壊発生率が高くなっている。

自然植生のある法面での被災率は裸地のものより若干低くはなっているが、保護工としての大きな効果はみられない。

岩の亀裂の方向では受け盤法面での崩壊発生率が他に比べて際立って高い。

4.2.3 落石

落石の発生に関しては「法面の高さ」、「平面形状」、「断面形状」、「浸食の程度」、「地質構成」、「亀裂の方向」および「地表水の状態」の7要因が10%以下の危険率で有意差が認められた。カテゴリー別の被災率を図-4.4に示す。

10m以下の低い法面からの落石は記録されておらず、30m～50mの法面からの落石の発生率が最も高い。50m以上の高い法面での落石発生率が30m～50mの法面からのものより低いのは、高い法面の多くがあまり風化を受けていない硬岩で構成されているためである。

落石の場合は切土法面の崩壊と違い谷型地形の平面形状をもつ法面で最も被災率が高く、次が直線部となっている。地表水が集中しにくい尾根形状の法面での発生率は非常に低い。断面形状の違いによる被災率の変化も切土法面崩壊の場合と違いをみせている。崩壊の場合は逆S型断面の法面での発生率が飛び抜

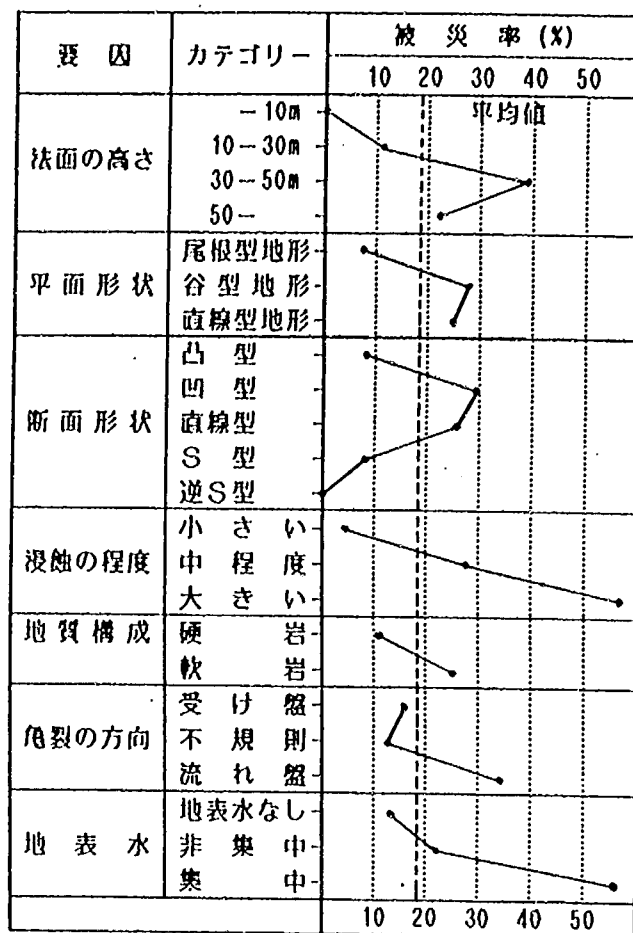


図-4.4 カテゴリー別被災率 (落石)

けて高いのに対して、落石は逆S型断面の法面でまったく発生していない。また、切土法面崩壊の発生率は凸型断面で25%程度あるのに対し、落石は3%しか発生していない。落石の発生率の高い断面形状は凹型および直線型である。

浸食の程度による落石発生率の変化は他の災害と同様、大きく浸食を受けた法面での発生率が高くなっている。

落石に対する対象法面の地質は岩類が主体で、一部岩と土砂類で構成されている所もある。カイ自乗検定では硬岩、軟岩、硬岩と土砂、軟岩と土砂の4カテゴリーの場合、硬岩、軟岩、岩と土砂の3カテゴリーの場合、そして岩だけに着目して硬岩、軟岩の2個のカテゴリーにした場合の3ケースの検定を行った。その結果、2個のカテゴリーとした場合に有意水準5%で有意差が認められ、その場合の被災率は図に示したように軟岩斜面で高くなっている。

岩の亀裂の方向による被災率の差も落石と崩壊とは違いが認められる。つまり、崩壊は受け盤で発生率が高いのに対し、落石は流れ盤で発生率が高い。落石は地表水が集中する法面での発生率が非常に高い。落石の発生率が高い平面形状が谷型であり、断面形状が凹型であるが、これらの形状は地表水が集中しやすい地形であることもこれを裏付けている。

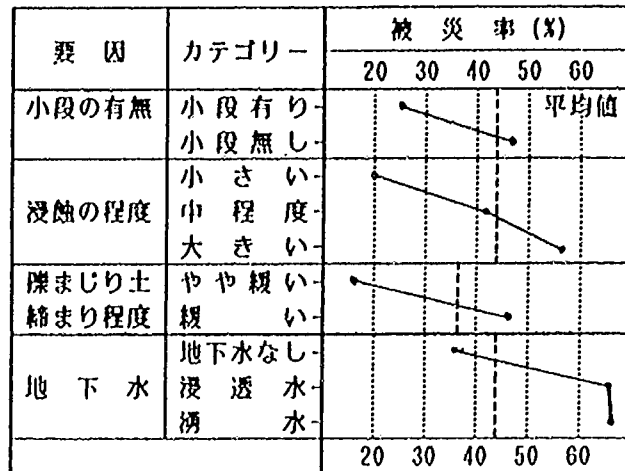


図-4.5 カテゴリー別被災率 (盛土法面の崩壊)

4.2.4 盛土法面の崩壊

盛土法面崩壊の発生に寄与すると考えられる要因は、「小段の有無」、「浸食の程度」、「礫まじり土の締まり程度」および「地下水の状態」の4要因であり、それぞれのカテゴリー別の被災率は図-4.5に示すようになっている。

小段の有無が崩壊発生に影響を与えているかについては小段が設置されている法面が非常に少ないため、統計的に結論付けるには多少の問題もあるが、調査結果では小段が設置されている法面での崩壊発生率が少なくなっており、盛土法面崩壊の対策工として一定の役割を果たしていると言える。

浸食の程度については図に示したように浸食程度の大きい法面での崩壊発生率が高い。

調査の対象となった盛土法面には固く締まった礫まじり土が無いため、礫まじり土の締まり程度のカテゴリーは「やや緩い」と「緩い」の2種類である。このうち締まり程度の緩い礫まじり土の斜面での崩壊発生率が高くなっている。

地下水の状態では浸透水、湧水の種類を問わず地下水の観察される法面での被災率が高い。

4.3 数量化法による解析

本解析では外的基準が被災・安定という質的な形で与えられており、要因もカテゴリー分類されているため、数量化Ⅱ類を適用した。

解析は災害の種類別に行い、それぞれカイ自乗検定で抽出した要因を用いた。ただし、前節では有意水準を10%以下としたが、数量化解析には25%以下の要因まで枠を拡げて対象とした。また、要因のうち「岩の亀裂の方向」および「礫まじり土の締まり程度」は地質構成がそれぞれ岩および礫まじり土のサンプルにのみ反応し、他のサンプルでは反応しないため解析の対象からはずした。さらに「法面保護の状況」については、前節でものべたように構造物などが保護工としての役割りを果たしていないという事情があるため、これも対象から外した。

各災害種類ごとの解析結果を次にのべる。

4.3.1 全種類の災害

法面の種類、災害の種類を問わずに災害が発生したか、しなかったかというカテゴリーを外的基準として解析を行った。

まず表-4.3に示した要因・カテゴリーにより解析し、その後カテゴリー分類および要因数を変化させ、最も適中率の高くなるケースを選び出した。

カテゴリーの分類を変化させた要因は「法面の勾配」であり、表の4カテゴリーに対して

- (1) 45° 未満
- (2) 45° 以上、60° 未満
- (3) 60° 以上

の3分類での解析を行った。

その結果、適中率は僅かに上昇し72.4%から72.5%となった。

表-4.3 要因・カテゴリー一覧表

要 因	カ テ ゴ リ ー
1. 法面の勾配	(1) 45° 未満 (2) 45° ~ 60 (3) 60° ~ 90 (4) オーバーハング
2. 平面形状	(1) 尾根型 (2) 谷型 (3) 直線型
3. 断面形状	(1) 上昇型 (2) 下降型 (3) 直線型 (4) S型 (5) 逆S型
4. 侵食の程度	(1) 小さい (2) 中程度 (3) 大きい
5. 地質構成	(1) 硬岩 (2) 軟岩 (3) 礫まじり土 (4) 砂質土 (5) 粘性土 (6) 硬岩及び礫・土 (7) 軟岩及び礫・土
6. 地表水の状態	(1) 地表水無し (2) 集中していない。 (3) 集中している。
7. 地下水の状態	(1) 地下水無し (2) 浸透水 (3) 湧水

次に、7 要因で行った解析結果から得点レンジの小さい要因を順次外して解析し適中率の変化をみた。その結果、「地表水の状態」を外した 6 要因で解析したケースが最も高い適中率 (73.4%) となった。このケースの解析によるカテゴリーの得点および要因の得点レンジを表-4.4 に示す。各要因の得点レンジの大きさは①断面形状、②浸食の程度、③地下水の状態、④地質構成、⑤平面形状、⑥法面の勾配の順序となっている。これらの要因の中で「断面形状」では、逆S型に災害発生に対して高い得点が与えられている一方、S型には安定に対して高い得点が与えられている。また、「浸食の程度」では程度が大きくなれば危険側に高い得点となっており、「地下水の状態」では地下水が観察される場合に高い得点が与えられている。地下水のタイプでは、浸透水より湧水の方が災害発生により大きく寄与していることを示している。「地質構成」のうち岩、礫まじり土は安定側に寄与しているのに対し、砂質土および粘性土は危険側に寄与している。特に硬岩と礫・土砂類で構成されている場合には、解析したカテゴリーの中で最も高い得点となっており、この種の地質構成を持つ法面は災害発生の危険度が高いことを示している。

表-4.5に要因相互の相関係数を示したが、どの組み合わせも0.3以下の小さい値であり、要因間の強い相関はみられなかった。また、表-4.6にサンプルスコアの分散を示す。

表-4.4 カテゴリーの得点

要 因	カ テ ゴ リ ー の 得 点							得 点 の レ ン ジ	偏 相 関 数
	1	2	3	4	5	6	7		
1.法面の勾配	0.08841	-0.06433	0.01143	—	—	—	—	0.15274	0.06407
2.平面形状	-0.13635	-0.03184	0.14385	—	—	—	—	0.28020	0.13041
3.断面形状	-0.11495	0.06019	-0.03373	//////	0.27663	—	—	0.53456	0.14336
4.侵食の程度	//////	-0.00474	0.21431	—	—	—	—	0.44348	0.18234
5.地質構成	-0.03924	-0.04331	-0.02350	0.26693	0.12420	0.27904	-0.01955	0.32234	0.09583
6.地下水の状態	-0.05077	0.23218	0.29672	—	—	—	—	0.34748	0.12813
備 考	サンプル数：713 適中率：73.4% 相関比：0.38828								

表-4.5 要因間の相関係数

要 因	1	2	3	4	5	6
1.法面の勾配	—	—	—	—	—	—
2.平面形状	0.01490	—	—	—	—	—
3.断面形状	0.26697	0.05078	—	—	—	—
4.侵食の程度	0.07423	0.13274	0.16316	—	—	—
5.地質構成	0.18165	0.12540	0.15921	0.25318	—	—
6.地下水の状態	0.13739	-0.07893	0.17379	0.14010	0.11166	—

4.3.2 切土法面の崩壊

切土法面の崩壊に寄与する要因・カテゴリーを分析するため、表-4.7に示した要因を用い、崩壊したか安定していたかというカテゴリーを外的基準として数量化解析を行なった。解析ではカテゴリー分類の分け方および要因数を変えることによる解析精度の変化を検討した。

表の5つの要因の中でカテゴリー分類の分け方を変えて検討したのは「法面の高さ」である。表に示した4つのカテゴリーで解析した場合と「30m～50m」と「50m以上」を統合して「30m以上」とした3つのカテゴリーで解析した場合とを比較した。その結果カテゴリーの得点やそのレンジなどの傾向はほとんど変わらず、適中率は70.9%から69.8%におちた。

表-4.6 サンプルスコアの分散

外的基準	分散	平均
1.非崩壊	52.99410	0.39743
2.崩壊	22.89459	0.70532
	75.88870	
全分散：89.36062 グループ間分散：13.47182		

表-4.7 要因・カテゴリー一覧表

要因	カテゴリー
1. 法面の高さ	(1) 10m 未満
	(2) 10m ～ 30m
	(3) 30m ～ 50m
	(4) 50m 以上
2. 平面形状	(1) 尾根型
	(2) 谷型
	(3) 直線型
3. 断面形状	(1) 上昇型
	(2) 下降型
	(3) 直線型
	(4) S型
	(5) 逆S型
4. 侵食の程度	(1) 小さい
	(2) 中程度
	(3) 大きい
5. 地質構成	(1) 硬岩
	(2) 軟岩
	(3) 礫まじり土
	(4) 砂質土
	(5) 粘性土
	(6) 硬岩及び礫・土
	(7) 軟岩及び礫・土

次に全要因で解析した際に得点レンジの小さかった要因から順次外して解析を行ない適中率の変化をみたが、「浸食の程度」を外した4要因で解析したケースが最も高く、適中率は72.2%、相関比0.336であった。このケースの解析結果を表-4.8～表-4.10に示した。なお、表-4.8の  印は正の大きな得点を意味し、 印は負の大きな得点を意味している。

要因の得点レンジでは、「断面形状」と「地質構成」が際立って大きく、次いで「平面形状」、「法面の高さ」の順となっている。また、得点が正で大きく崩壊を引起す要因と考えられるカテゴリーは、地質構成では「硬岩および礫・土」、「砂質土」であり、断面形状では「逆S型」である。これらのほかに正で大きい得点を持つものは「直線型」の平面形状、「50m以上」の切土高などである。逆に安定に寄与していると考えられるカテゴリーは、「S型」の断面形状、「尾根型」の平面形状、地質構成が「礫まじり土」、「10m以下」の切土高などである。

表-4.8 カテゴリーの得点

要 因	カ テ ゴ リ ー の 得 点							得 点 の レ ン ジ	偏 相 関 係 数
	1	2	3	4	5	6	7		
1.法面の高さ	-0.10742	0.03579	-0.00881	0.21757	—	—	—	0.32499	0.10066
2.平面形状	-0.16343	-0.05809	0.21242	—	—	—	—	0.37585	0.22098
3.断面形状	0.01184	0.00894	-0.11071		0.31470			0.65714	0.18041
4.地質構成	-0.06361	0.00591	-0.13371	0.37658	0.06620	0.44538	-0.07295	0.57909	0.15181
備 考	サンプル数：380 適中率：72.2% 相関比：0.33645								

表-4.9 要因間の相関係数

要 因	1	2	3
1.法面の高さ	—	—	—
2.平面形状	0.06070	—	—
3.断面形状	0.02134	-0.00126	—
4.地質構成	-0.00988	0.06066	0.01518

表-4.10 サンプルスコアの分散

外的基準	分 散	平 均
1.非崩壊	13.47768	0.27614
2.崩 壊	6.66162	0.46815
	20.13930	
全分散：22.70999 グループ間分散：2.57068		

要因相互間の相関はほとんどみられず、各々独立している。

カイ自乗検定および数量化解析による要因分析により切土法面の崩壊に係わる因子が抽出された。この結果より切土法面の崩壊に関して次のことが考えられる。

- ・切土法面の崩壊に係わる要因は「断面形状」、「地質構成」、「平面形状」、「法面の高さ」、「浸食の程度」である。
- ・硬岩の上を礫や土砂が覆っている地質構成の切土法面および砂質土の切土法面は、崩壊に対して危険度が非常に高い。
- ・逆S型の断面形状の切土法面は崩壊に対して危険度が高いが、S型の断面形状の切土法面は崩壊に対して比較的安定している。
- ・直線部の切土法面は崩壊に対する危険度が高いが、尾根型地形部の切土法面は比較的安定している。
- ・切土高が50m以上の高い法面は、崩壊に対する危険度が高い。
- ・激しく浸食を受けている法面は、崩壊に対する危険度が高い。

4.3.3 落石

落石を起こす法面が持つ特徴を検討するために表-4.11に示した要因・カテゴリーによって数量化解析を行った。7つ要因の中で「法面の高さ」と「地質構成」についてはカテゴリー分類の方法を変えた分析も行った。

「法面の高さ」では切土法面の崩壊の検討と同様に30m以上を一つとし、4カテゴリーを3カテゴリーにした場合の検討を行った。また、「地質構成」では表-4.11の3カテゴリーに対して硬岩と礫・土で構成されているものを硬岩、軟岩と礫・土で構成されているものを軟岩とみなし、「硬岩」および「軟岩」の2つのカテゴリーとした場合の検討を行った。

これらの組み合わせについて解析した結果、各ケースの適中率は表-4.12のように「法面の高さ」が4カテゴリーで「地質構成」が2カテゴリーのときに適中率が最も高くなった。なお、この解析では分類方法を変えた上記2つ以外の要因は表-4.11に示したカテゴリー分類のままとした。

つぎに、カテゴリー分類の分け方の中で最も適中率の高かったケースに対して、要因の数を減らした場合の適中率の変化を検討した。要因は得点レンジが低いものから順次外した。まず得点レンジが最も低い「地質構成」を外し、続いて次に低い「地表水の状態」を外した解析を行ったが、適中率はいずれの場合も低下し7要因での解析結果が最も高かった。この場合の適中率は80.3%、相関比は0.49であった。

要因の得点レンジおよびカテゴリーの得点を表-4.13に示すが、要因を得点レンジの大きいものから順に並べると①地下水の状態、②浸食の程度、③法面の高さ、④法面の断面形状、⑤法面の平面形状、⑥地表水の状態、⑦地質構成のようになる。落石発生に対して特に高い得点を持つカテゴリーは、「湧水が観察される」と「浸食の程度が大きい」である。この2つに比べて他のカテゴリーの得点はあまり大きくはないが、各要因の中で正の得点が比較的大きいカテゴリーとしては「法面の高さが30m～50m」、「凹型の断面形状」、「谷型の平面形状」などがあげられる。一方、安定に寄与していると考えられるカテゴリーの中

表-4.11 要因・カテゴリー一覧表

要 因	カ テ ゴ リ ー
1. 法面の高さ	(1) 10m 未満 (2) 10m ~ 30m (3) 30m ~ 50m (4) 50m 以上
2. 平面形状	(1) 尾根型 (2) 谷型 (3) 直線型
3. 断面形状	(1) 上昇型 (2) 下降型 (3) 直線型 (4) S型 (5) 逆S型
4. 侵食の程度	(1) 小さい (2) 中程度 (3) 大きい
5. 地質構成	(1) 硬岩 (2) 軟岩 (3) 岩及び隙・土
6. 地表水の状態	(1) 地表水無し (2) 集中していない。 (3) 集中している。
7. 地下水の状態	(1) 地下水無し (2) 浸透水 (3) 湧水

表-4.12 カテゴリー分類の変更による適中率の変化

		法 面 の 高 さ	
		4 カテゴリー	3 カテゴリー
地質構成	3 カテゴリー	81.6%	78.6%
	2 カテゴリー	81.9%	79.3%

表-4.13 カテゴリーの得点

要 因	カ テ ゴ リ ー の 得 点					得点の レンジ	偏相関 係 数
	1	2	3	4	5		
1.法面の高さ	-0.19428	-0.07591	0.23204	0.02939	—	0.42628	0.25052
2.平面形状	-0.05737	0.07929	0.00961	—	—	0.13666	0.08984
3.断面形状	-0.09172	0.15707	0.01469	-0.08107	-0.16403	0.32110	0.18006
4.侵食の程度	-0.14007	0.08195	0.38901	—	—	0.52908	0.19281
5.地質構成	0.00964	-0.00849	—	—	—	0.01813	0.01470
6.地表水の状態	0.00490	0.00329	-0.09211	—	—	0.09701	0.03063
7.地下水の状態	-0.01122	-0.08568	0.54379	—	—	0.62947	0.15352
備 考	サンプル数：158 適中率：80.3% 相関比：0.49172						

で得点が比較的大きいものは「法面の高さが10m以下」、「浸食の程度が小さい」、「逆S型の断面形状」などである。

要因相互の相関は表-4.14に示したが、「浸食の程度」が「法面の高さ」、「地質構成」および「地表水の状態」との間に、「地表水の状態」が「地下水の状況」との間にやや相関がみられるほかには強い相関はない。

各外的基準に対するサンプル・スコアの分散および平均値を表-4.15に示した。

落石に関する要因分析の結果、次のことが考察される。

- ・落石発生に強く係わると考えられる要因は、「地下水の状態」、「浸食の程度」および「法面の高さ」であり、他に「断面形状」と「平面形状」も要因として考えられる。反面、硬岩と軟岩の違い、地表水の有無は落石発生の要因とはなっていない。
- ・湧水のみられる法面は落石の危険度が非常に高い。しかしながら、同じ地下水でも浸透水の場合の危険度は高くない。
- ・大きく浸食を受けている法面は落石の危険度が非常に高い。逆に、ほとんど浸食を受けていない法面は比較的安定している。
- ・30m以上の高さの法面では落石の危険度が非常に高いが、10m以下の法面は比較的安定している。
- ・断面形状では凹型の法面の危険度が高い。切土法面崩壊に対する危険度が高い逆S型断面は、落石に対しては比較的安定している。
- ・谷型地形にある法面では落石の危険度が高いが、尾根型地形にある法面は比較的安定している。

表-4.14 要因間の相関係数

要 因	1	2	3	4	5	6	7
1.法面の高さ	—	—	—	—	—	—	—
2.平面形状	0.22902	—	—	—	—	—	—
3.断面形状	0.09899	0.11755	—	—	—	—	—
4.浸食の程度	0.32612	0.25333	0.23645	—	—	—	—
5.地質構成	-0.14305	0.09548	-0.24617	0.44686	—	—	—
6.地表水の状態	-0.13241	-0.26903	-0.18610	-0.48204	0.07579	—	—
7.地下水の状態	-0.07842	-0.04578	-0.05204	0.16815	-0.18247	-0.38113	—

表-4.15 サンプルスコアの分散

外的基準	分 散	平 均
1.非崩壊	8.44938	0.41320
2.崩 壊	1.41471	0.77769
	9.86408	
全分散：13.00972		グループ間分散：3.14563

表-4.16 要因・カテゴリー一覧表

要 因	カ テ ゴ リ ー
1. 小 段 の 有 無	(1) 小段有り (2) 小段無し
2. 侵食の程度	(1) 小 さ い (2) 中 程 度 (3) 大 き い
3. 地 質 構 成	(1) 岩 (2) 礫まじり土 (3) 砂 質 土 (4) 粘 性 土
4. 地下水の状態	(1) 地下水無し (2) 浸 透 水 (3) 湧 水

表-4.17 カテゴリーの得点

要 因	カ テ ゴ リ ー の 得 点				得 点 の レ ン ジ	偏 相 関 係 数
	1	2	3	4		
1.小段の有無	-0.25039	0.02374	—	—	0.27413	0.16432
2.侵食の程度	-0.26649	-0.02094	0.12518	—	0.39067	0.27055
3.地質構成	-0.40591	-0.03195	0.00322	0.12397	0.52988	0.23505
4.地下水の状態	-0.08338	0.23290	0.07278	—	0.31628	0.28428
備 考	サンプル数：127 適中率：75.1%				相関比：0.45803	

表-4.18 要因間の相関係数

要 因	1	2	3
1.小段の有無	—	—	—
2.侵食の程度	-0.02359	—	—
3.地質構成	-0.00769	0.05488	—
4.地下水の状態	0.05807	-0.00408	0.01216

表-4.19 サンプルスコアの分散

外的基準	分 散	平 均
1.非崩壊	3.45331	0.90988
2.崩壊	2.23236	1.12991
	5.68567	
全分散：7.19519		グループ間分散：1.50951

4.3.4 盛土法面の崩壊

表-4.16に示した要因・カテゴリで盛土法面の崩壊に関する要因分析を行った。これらの要因のうち「地質構成」はカイ自乗検定で検討した各種のカテゴリ分けの中で有意差がわずかに認められた表中の4カテゴリを用いた。

要因を変化させて適中率の変化をみたが、要因を減らすと適中率は下がり4要因で解析した場合が最も高い適中率(75.1%)を示した。

解析の結果、各カテゴリに与えられた得点を表-4.17に示す。崩壊発生に対して高い得点が与えられたカテゴリは、「浸透水」、「浸食の程度が大きい」、「粘性土」であり、要因の得点レンジは大きい順に「地質構成」、「浸食の程度」、「地下水の状態」、「小段の有無」であった。反対に盛土の安定に対して高い得点が与えられているカテゴリは、「岩」、「小段が有る」の2つであった。

要因相互の相関は表-4.18に示したようにほとんどない。また、サンプルスコアの分散を表-4.19に示す。

盛土法面の崩壊に関する要因分析の結果、次の点が明らかとなった。

- ・盛土法面の崩壊に寄与していると考えられる要因は「地質構成」、「浸食の程度」、「地下水の状態」、「小段の有無」である。
- ・基盤が岩で構成された盛土法面は比較的安定している。
- ・地下水の観察される盛土法面は危険度が高く、特に浸透水が滲み出している法面の危険度が高い。
- ・小段が無い法面が圧倒的に多いため、小段が無いこと自体が危険度を大きく高める要素にはなっていないが、逆に小段が有る盛土法面は比較的安定しているといえる。

第5章 日本の法面災害との比較

3年にわたって実施したフィリピンの法面災害の実態調査およびその分析結果と日本の法面災害との比較を定量的に行うためには、同じ条件下にて得られたデータを基にして比較することが基本であるが、このような統一された条件でのデータを収集することに無理があるため、ここでは両国の地形、地質、降雨パターン、道路法面の状況などを比較し、法面災害については、収集したデータからみた法面災害を列挙することとした。

5.1 地形、地質からみた比較

5.1.1 フィリピンにおける調査対象区間の地形、地質の概要

フィリピンは造山運動と火山活動の繰返しによって形成された大小約7,100個の島々から構成され、これらの島々はルソン、ビサイヤ、ミンダナオの3つのグループに大別されている。調査対象区域はルソン・グループに属している。

1) 地形

ルソン島の地形は図-5.1ルソン島の地形区分に示したように、北ルソンには東側にシェラ・マドリ山脈が、また西側に中央山塊がほぼ南北方向の方向をもって発達し、この両山脈の南端にはカラバロ山脈が分布している。

ルソン島北部の広大な沖積平野を形成するカガヤン・バレーはこの3つの山脈に囲まれて、形成されたものであり、カラバロ山脈の南側には、広大なルソン・中央平原が発達し、その南端はルセナ近くに至るまで伸びている。

調査対象区域のM-4、M-5、M-6はカラバロ山脈の中央部からカガヤン・バレーとの境界付近にかけて位置し、またM-10、M-11区間は中央平原東側に発達するシェラ・マドリ山脈の南端部に位置している。一方、B-1、B-2、B-3区間は南北方向に発達する中央山塊の中央部を横断して分布している。

従って、M-6、B-1、B-2、B-3区間は全体が斜面傾斜の急峻な山岳地形中に建設された山岳道路であり、災害を発生しやすい地形条件を備えた地域である。

2) 地質

調査対象区域の地質は図-5.2ルソン島北部の地質図に示したように、中生代末から新第三紀にかけて活動した火成岩およびそれらの火山砕屑岩類と礫岩、砂岩、頁岩、石灰岩などからなる堆積岩類を基盤岩としている。図-5.3はフィリピン全土の地質図である。

また地盤構造としてはフィリピンの地質を2分するフィリピン断層が北西方向をもって分布し、この主要断層から分枝した北-南方向の副次断層も著しく、M-6区間ではこの断層の影響で、基盤岩は破碎粘土化を蒙り、風化の進行が顕著である。

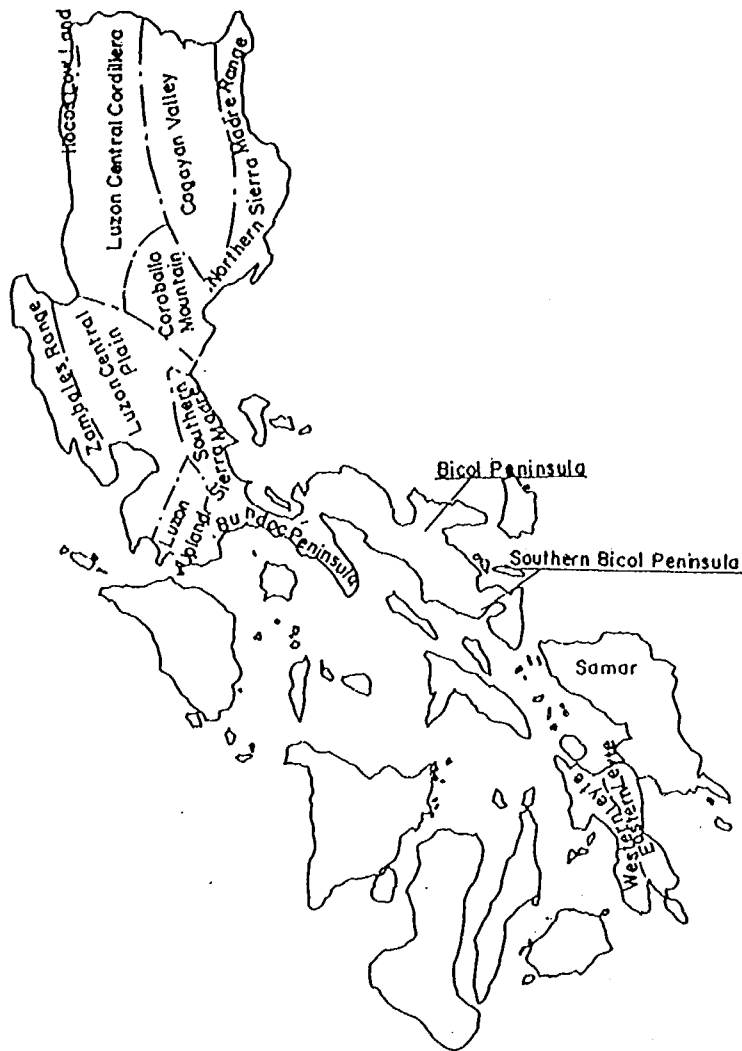


図-5.1 ルソン・グループの地形区分

(1) M-4、M-5、M-6区間の地質

ダルトン・パスを中心とした上記対象区間の地質は花崗岩（トータル岩）を基底岩盤岩とし、この花崗岩中に侵入又は貫入した閃緑岩や輝緑岩、安山岩、石英安山岩およびこれら火成岩の火山碎屑岩類、砂岩、泥岩からなる堆積岩類を基盤岩とし、これを覆って発達する段丘砂礫、崖錐層からなる未固結土層とから構成されている。

ダルトン・パス周辺部の輝緑岩は断層による粘土化が著しく、軟質で、地すべり、崩壊を誘発した箇所が多く、地質的に不安定な地域である。

(2) M-10、M-11

ルセナ〜ダエット間の地質は第三紀に相当する石灰岩、砂岩頁岩などの堆積岩を基盤岩とし、これを覆って未固結土層よりなる崖錐層から構成される。



LEGEND

SEDIMENTARY AND METAMORPHIC ROCKS

- R RECENT
- NQ PLIOCENE-PLEISTOCENE
- N₂ UPPER MIOCENE-PLIOCENE
- N₁ OLIGOCENE-MIOCENE
- P₂ OLIGOCENE
- P₁ PALEOCENE-EOCENE
- KP UNDIFFERENTIATED
- K CRETACEOUS
- J JURASSIC
- BC BASE COMPLEX: PRE-JURASSIC

IGNEOUS ROCKS

INTRUSIVE ROCKS

- NI MIOCENE
- PI PALEOCENE
- UC CRETACEOUS-PALEOCENE
- PJ PRE-JURASSIC

VOLCANIC ROCKS

- QA QUATERNARY
- QP₁ PLIOCENE-QUATERNARY
- QV PLIOCENE-QUATERNARY
- N₂ UPPER MIOCENE-PLIOCENE
- N₁ OLIGOCENE-MIOCENE
- P₂ OLIGOCENE
- P₁ PALEOCENE-EOCENE
- UV UNDIFFERENTIATED
- K CRETACEOUS-PALEOCENE

GEOLOGICAL SYMBOLS

- International boundary
- *Anticlinal axis with plunge
- Synclinal axis with plunge
- High angle fault (uplift above, down below, or vice versa)
- Normal fault (uplift above, down below, or vice versa)
- Thrust fault (uplift above, down below, or vice versa)

図-5.2 北部ルソン島の地質図

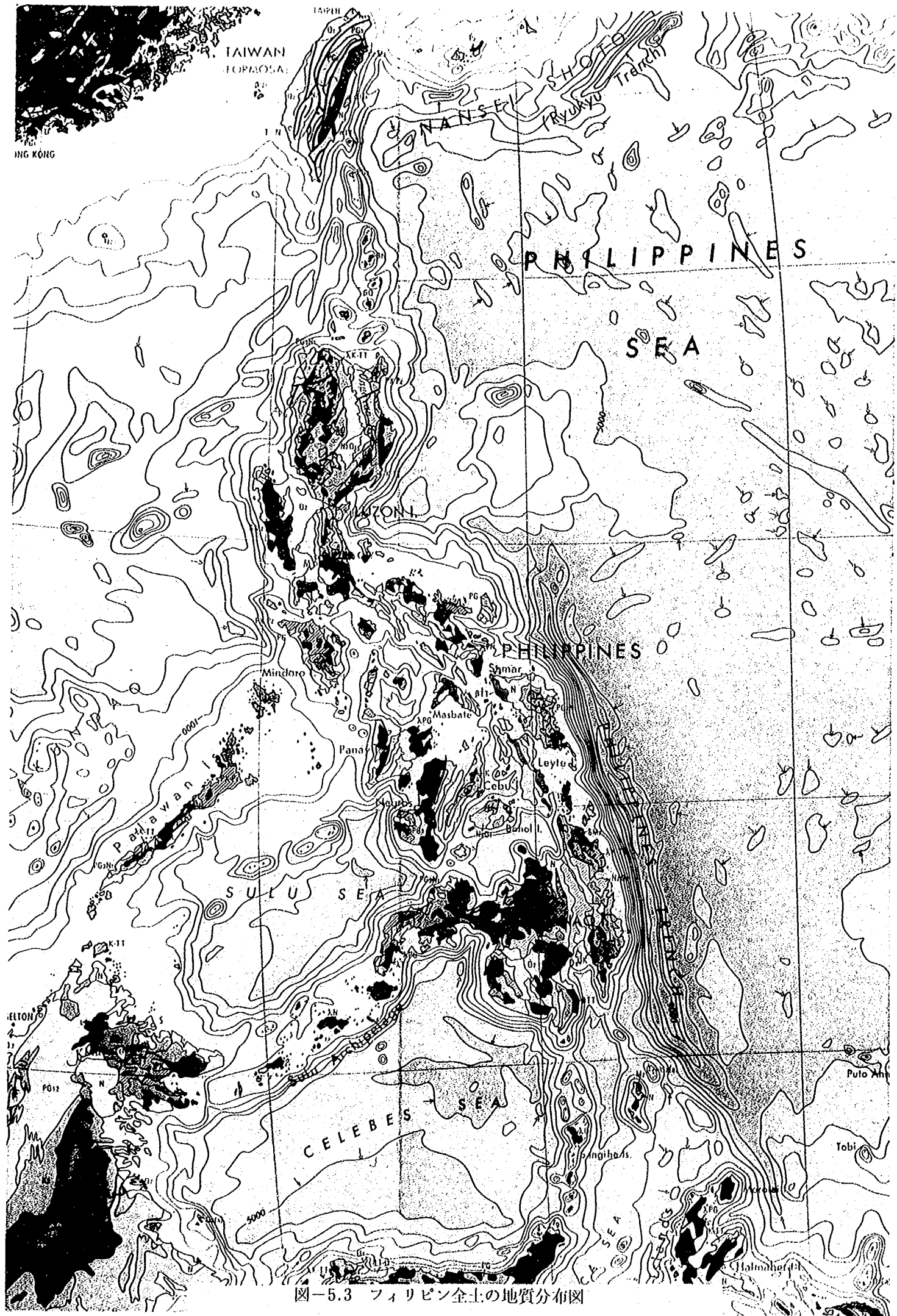
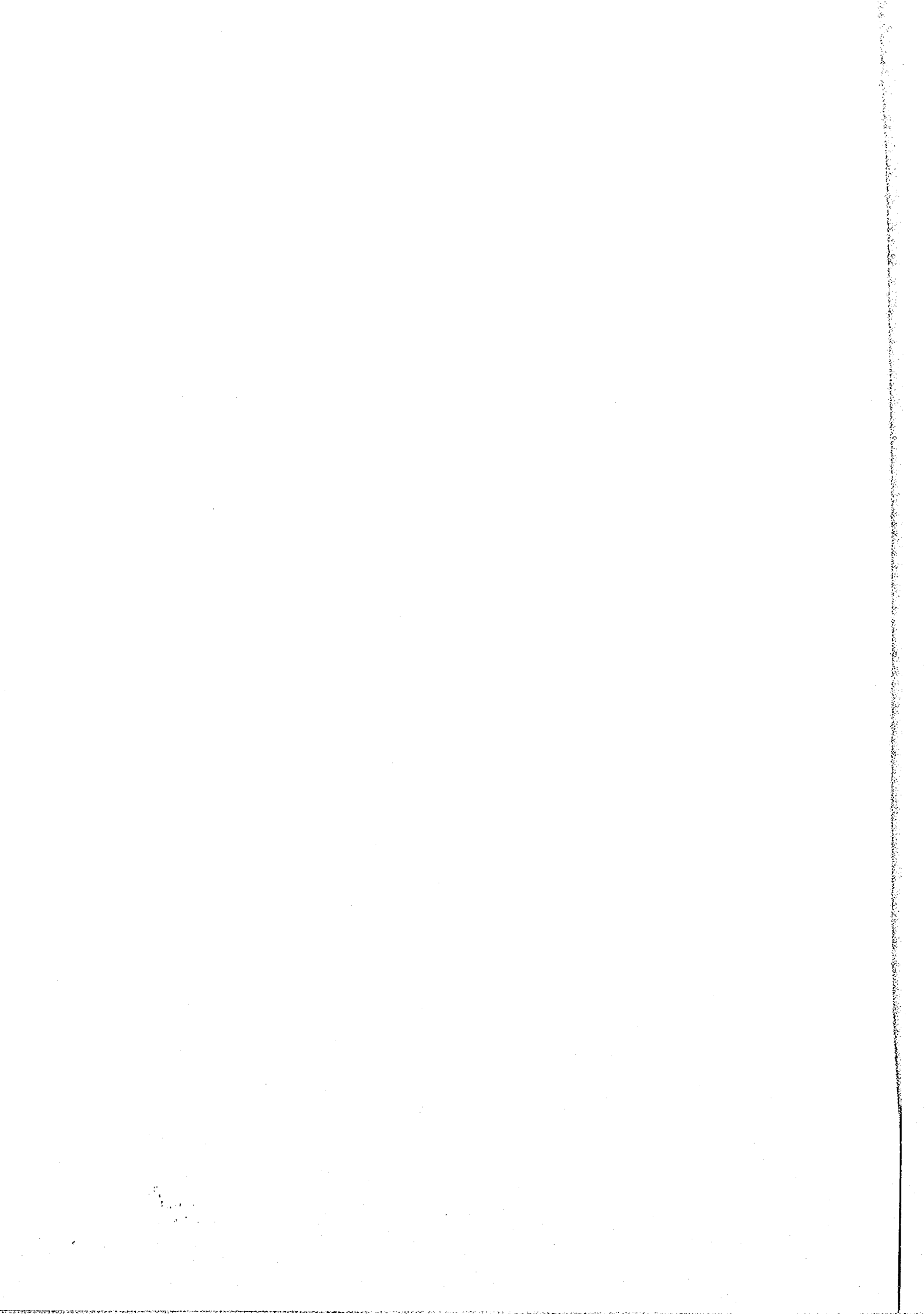


図-5.3 フィリピン全土の地質分布図



石灰岩はアテモナン周辺に主として発達し、グマカ周辺では砂岩頁岩の薄互層の分布が著しい。

また当地域に近接して、北西方向のフィリピン断層が発達し、周辺部の地質は乱されていると考えられる。

(3) B-1、B-2、B-3 区間

当区間の地質は古第三紀～新第三紀に属する閃緑岩や砂岩、礫岩、頁岩、石灰岩を基盤岩とし、これを覆って発達する段丘砂礫や崖錐層からなる未固結土層とから構成されている。

砂岩、頁岩からなる基盤岩は、全体に互層を形成するものが多く、層理面の発達が著しい。また礫岩は塊状で不規則な亀裂が発達しているが、層理面の発達は乏しい。石灰岩は主にバギオ周辺に分布している。

(4) 法面災害のタイプ

現地調査の結果から、調査対象区域における法面災害のタイプには法面の浅い崩壊、深い崩壊、地すべり、および落石の4タイプが上げられるが、大部分の崩壊は台風に伴う集中豪雨により誘発された浅い崩壊であり、その規模は小さい。

法面の浅い崩壊には基盤岩を覆って発達する崖錐層、段丘砂礫層、風化土層が滑落する土砂層の浅い崩壊と開口した亀裂や流れ盤をなす基盤岩の滑落する岩盤の浅い崩壊の2つのタイプがある。

土砂層の浅い崩壊は基盤岩と土砂層の境界が流れ盤状であり、かつこの境界付近は浸透水の通路となりやすいこと、斜面が急傾斜であることが崩壊の原因である。特に、基盤岩の岩質とは関係なく土砂層の層厚が3.0m以下のところで多発しているのが特徴である。

岩盤の浅い崩壊は基盤岩の開口亀裂部や強風化部また基盤岩の構造が流れ盤をなす区域で発生し、基盤岩の性状が崩壊の原因で、基盤岩と密接な関係がある。

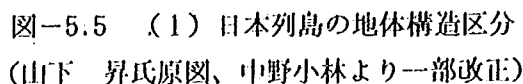
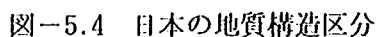
深い崩壊や地すべりは地質、地質構造と関連して発生する法面災害であり、一方落石は基盤岩の岩質よりはむしろ基盤岩の亀裂の状況や風化状態に大きく影響されている。

以上、フィリピンの調査対象区域の地形、地質、法面災害のタイプについてまとめたが、対象道路が全て山岳道路であり、かつ地質的にもフィリピン断層やその副次断層が発達し、基盤岩が攪乱されていること、さらに法面勾配が法面を構成する地質に対し急勾配であり、法面保護工が施工されていないことなどを考慮すると災害を誘発しやすい地域と考えてよく、このことはフィリピン全体の山岳道路に共通しているものと思われる。

5.1.2 地形、地質から見た日本との対比

フィリピンにおける調査対象区域がフィリピンの地質構造を2分するフィリピン断層の影響を受けていることから、日本における主な構造区分を示すと図-5.4日本の地質構造区分のようになる。

図-5.5日本の地質構造区分を参考にし、フィリピンにおける調査対象区間の地質分布を念頭において類似区間を検索すると、仏像構造線の南側に東西方向に带状構造を成して発達する四万十帯を挙げることが出来る。図-5.6は日本の地質分布を示したものである。



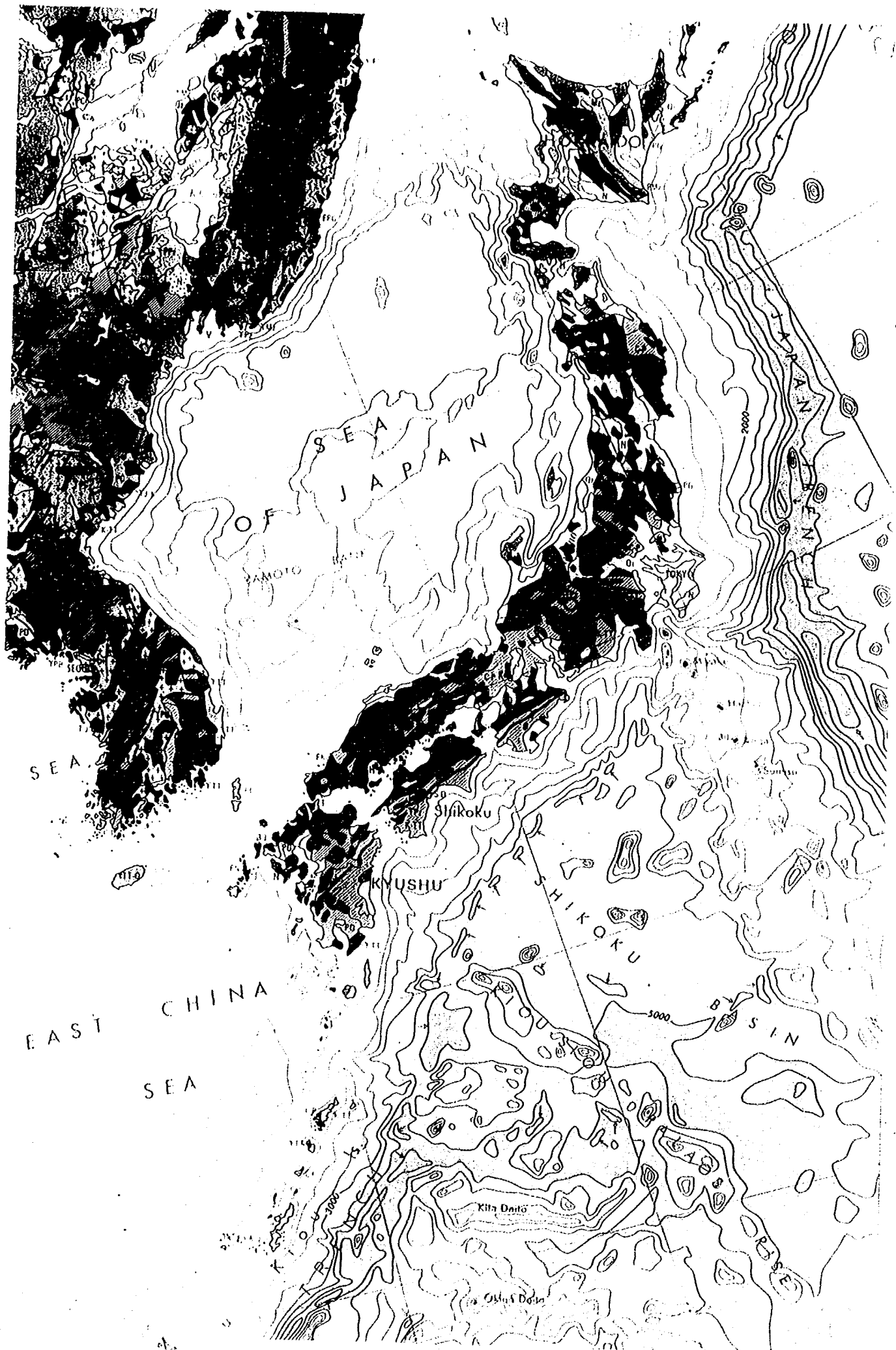
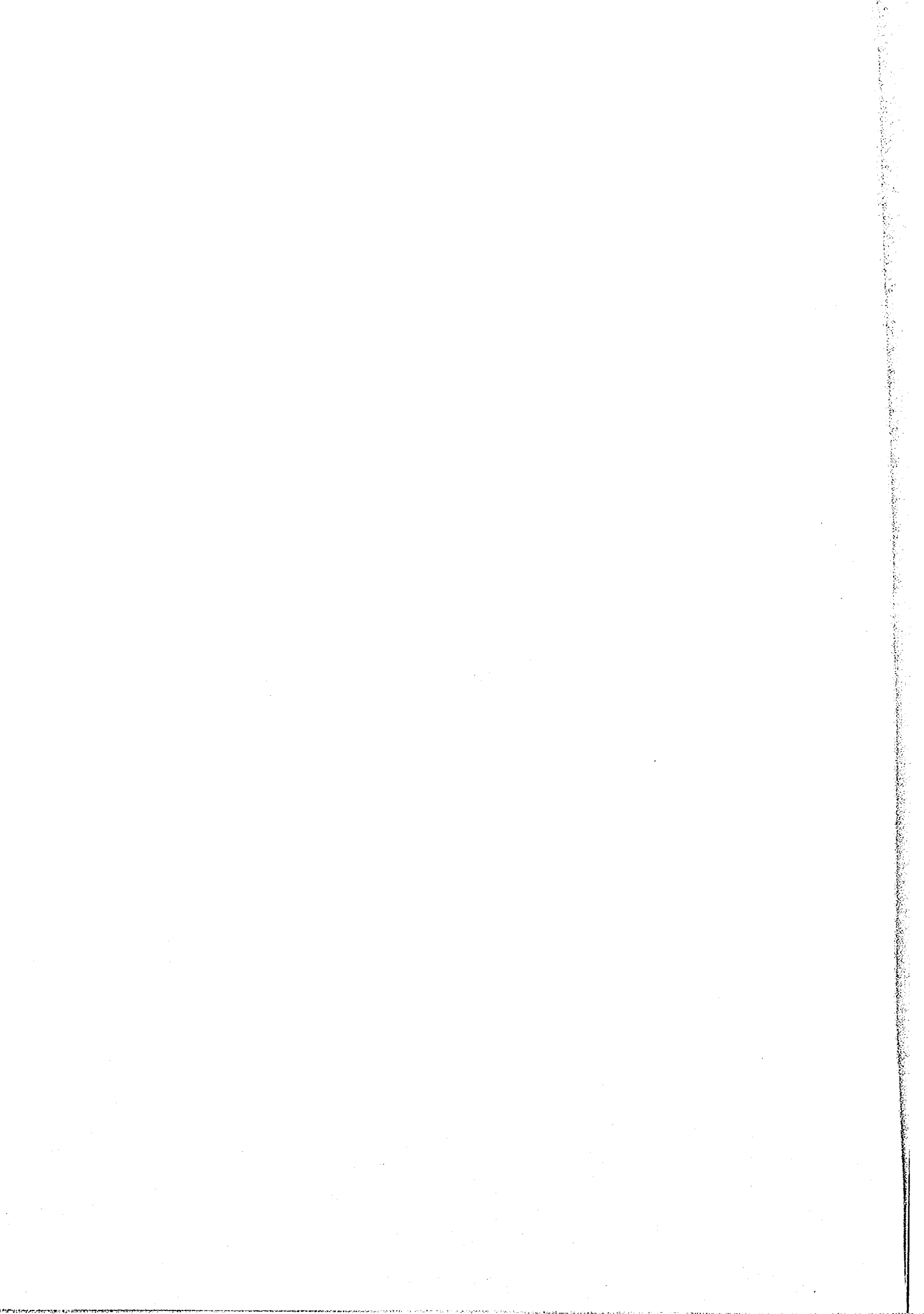


図-5.6 (2) 日本の地質分布図



特にバギオ周辺に発達する砂岩・頁岩の互層は紀伊半島南部および室戸岬に発達する四万十帯の牟婁層群に相当する砂岩・頁岩の互層部と岩質的に類似し、熊野酸性岩に対比できる花崗岩～石英斑岩の小岩脈が存在することからも類似地域として挙げられる。

上記のような地質構成から見た法面災害のタイプとしては次のものが挙げられ、フィリピンと同じ傾向を示すものと考えられる。

- ・基盤岩を覆って発達する崖錐層の浅い崩壊
- ・花崗岩の強風化帯（マサ土）の浅い崩壊
- ・砂岩・頁岩の互層の浅い崩壊（流れ盤）
- ・基盤岩の開口亀裂からの落石
- ・地層の層理面をすべり面とした岩盤すべり

5.2 降雨パターンの比較

法面災害は台風に伴う集中豪雨によって誘発されていることからフィリピン、日本の気象条件を比較することとした。

5.2.1 フィリピンと日本の降雨パターンの比較

1) フィリピンの降雨パターン

フィリピンにおいては、温度差が非常に少なく、一方、降雨量の変化が場所によって大きく異なることから、降雨量の特徴により気象形態を4タイプに分類している。図-5.7は調査対象区域を含めたルソン島北部の気候区分図である。各区分の特徴は次のとおりである。

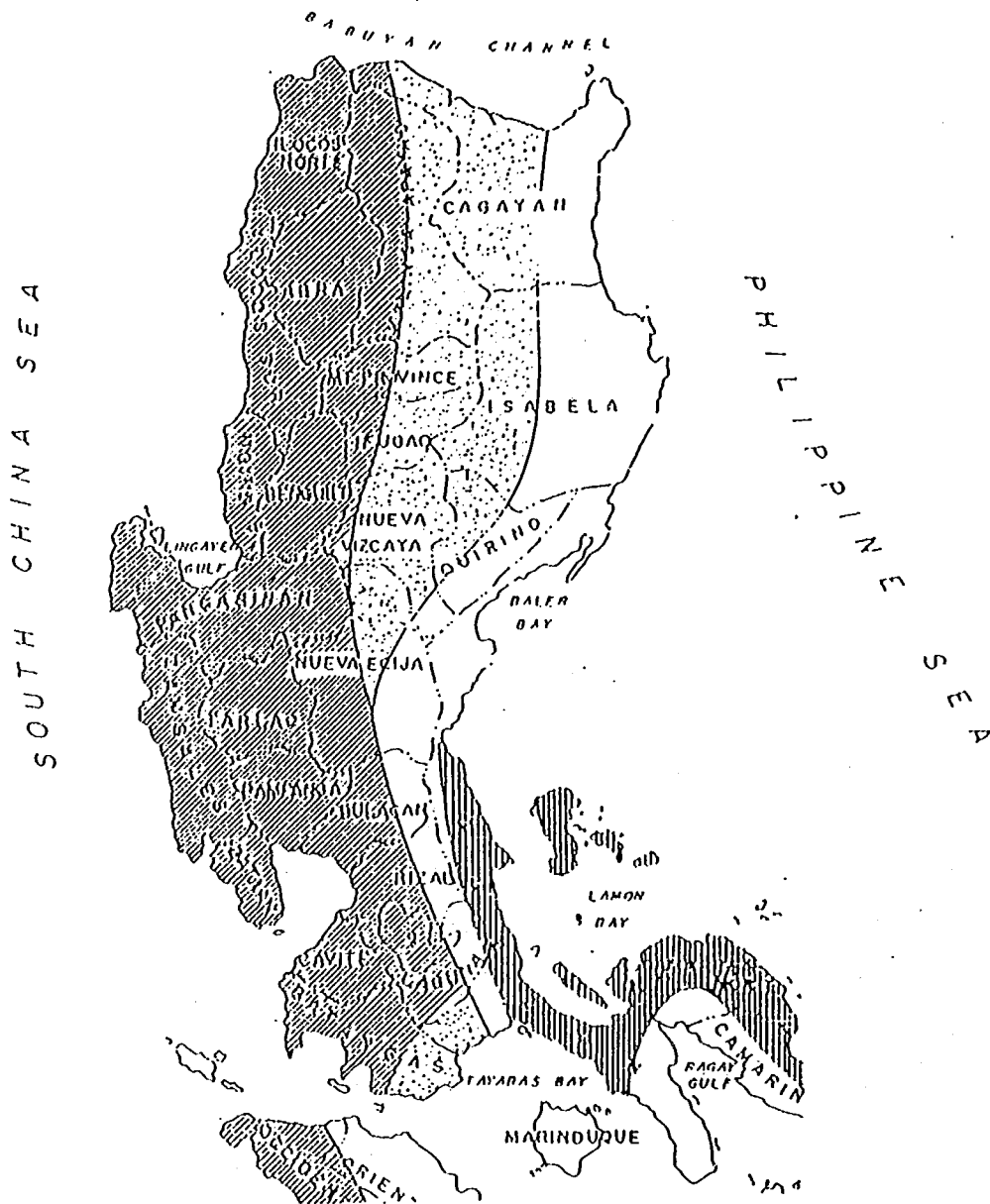
- ・第1タイプ：11月から4月までが乾季。5月～10月までが雨季の2シーズンに区分される。B-1、B-2、B-3区間はこのタイプである。
- ・第2タイプ：乾季がなく年間を通じ降雨量が見られるが、11月から1月にかけての降雨量が多い。M-10、M-11はこのタイプに相当する。
- ・第3タイプ：第2タイプと同様乾季がなく年間を通じて降雨量が見られるがその平均降雨量は第2タイプより少ない。ただ1月から5月にかけて、降雨量は比較的少なく、乾季に相当する。M-4、M-5、M-6区間はこのタイプに属する。
- ・第4タイプ：年間を通じ降雨量は平均化している。乾季、雨季の区分が全く見られない。

またフィリピンにおいて実施した降雨量観測の結果および収集資料をもとにしてまとめた各観測ステーションにおける月間降水量を表-5.1～表-5.6にまとめた。

2) 日本の降雨パターン

日本の雨量区は図-5.8に示すように一般的に区分されているのが現状で、雨量の季節変化は場所によって異なっている。

日本海側（I）日本海沿岸は北海道から北九州に至るまで、冬の季節風、それに伴う低気圧の影響を受



LEGEND



1st Type- Two pronounced seasons: dry from November to April; wet during the rest of the year.



2nd Type- No dry season with a very pronounced maximum rainfall from November to January.



3rd Type- Seasons not very pronounced; relatively dry from November to April and wet during the rest of the year.



4th Type- Rainfall more or less evenly distributed throughout the year.

図-5.7 ルソン島北部の気候区分図

表-5.1 Santa Feにおける月間降水量 (m/m) M-6区間

Month Year	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Total
1976	95.3	9.0	43.2	82.5	1,117.9	884.5	241.7	297.1	347.5	210.9	47.0	17.8	3,394.4
1977	7.6	7.6	49.6	1.3	185.4	162.4	321.1	257.5	381.2	46.9	277.9	2.5	1,701.0
1978	1.3	2.6	27.9	35.6	112.0	156.8	243.4	653.2	462.9	561.4	133.9	103.2	2,494.2
1979	3.8	0	45.5	84.5	140.8	359.4	239.3	220.6	271.5	27.5	56.3	36.3	1,485.5
1980	22.5	15.2	30.4	90.4	203.4	152.2	773.8	159.3	527.5	138.7	1,037.7	54.8	3,205.9
1984					569.0	224.0	285.0	1,184.0	362.0	620.0	4.0	11.0	3,259.0
1985	0	1.0	10.0	10.0									40.0

表-5.2 San Joseにおける月間降雨量 (m/m) M-6区間

Month Year	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Total
1976	0	0	52.1	54.9	1,363.9	616.1	269.0	374.8	377.5	16.9	44.7	17.8	3,187.7
1977	10.2	0.8	0	0	97.9	49.6	469.2	507.5	414.1	18.0	127.1	0	1,694.4
1978	0	14.5	7.6	12.1	171.0	319.4	297.7	723.8	377.8	451.8	16.5	3.8	2,396.0
1979	11.9	4.8	0	9.1	318.4	220.1	436.4	394.1	153.2	198.2	47.3	28.2	1,821.7
1980	9.9	0	15.2	0	266.4	33.7	481.0	228.3	284.3	127.0	451.1	3.0	1,929.9

表-5.3 Kennon Roadにおける月間降雨量 (m/m) B-1区間

Month Year	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Total
1984					331	376	368	1,808	257	8	0	0	3,148
1985	9	61	61	101	224	1,501	352	642	379	443	33	7	3,813
1986	30	8	0	5	396	161	1,424						2,024

表-5.4 Naguilan Roadにおける月間降水量 (m/m) B-3区間

Month Year	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Total
1985					308	1,530	338	17	441	169	244	18	3,055
1986	8	72	0	17	679	485	1,508						2,769

表-5.5 Diadiにおける月間降水量 M-4 区間

Month Year	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Total
					423	187	247	259	42				1,158

表-5.6 Atimonanにおける月間降水量 M-10 区間

Month Year	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Total
					190	181	90	275	25				761

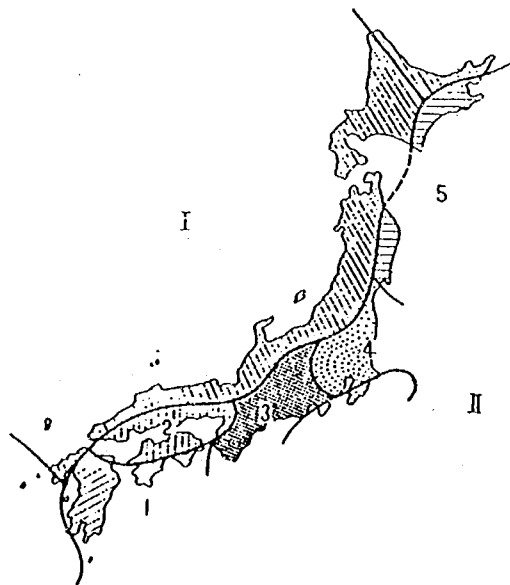


図-5.8 日本列島の雨量区

けて、冬12～1月に雨雪が多く、最多雨月になる。一方、太平洋側（Ⅱ）は夏型の雨量分布を示すが、春先（4～5月）、梅雨時（6～7月）、台風時（9～10月）の3回の雨季がある。そしてこの現われかたは場所によって異なり、1)九州・南四国では梅雨時に最も雨が多く、2)瀬戸内では、雨量が少ないだけでなく3回の雨季がほとんど同じ強度で現われ、3)中部東海一帯では台風時の多雨が最も顕著である。4)関東

地方では春先の低気圧による雨がはっきりせず、さらに冬の乾季が目立つ。5) 三陸から北海道太平洋岸では春先、梅雨時の雨季は消滅し、9月台風時の雨季だけになる。

一方、乾季は冬と夏に2回あり太平洋側では主に12～1月と8月、日本海側では8月である。

日本における1980～1985年間に於ける月間降水量（1951～1980年までの平均値）は表-5.7～表-5.11に示したとおりである。

また、表-5.12は統計開始年から1985年までに於ける最大日降水量、最大1時間降水量、および最大10分間降水量を示したものである。

表-5.7 日本の雨量区分 II-1

地名	年度	単位 mm												計
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
宮崎	1980年	256.5	45.0	220.5	237.5	337.5	243.0	295.0	270.0	259.5	396.0	55.5	26.5	2642.5
	1981年	10.0	37.0	325.5	234.0	187.0	172.5	85.0	112.0	336.5	121.5	184.0	2.0	1807.0
	1982年	65.5	141.5	176.5	242.0	168.0	198.0	613.0	288.0	200.0	98.5	160.0	31.0	2382.0
	1983年	25.5	65.5	439.5	405.0	327.0	475.0	156.0	346.5	768.0	71.0	9.0	6.5	3094.5
	1984年	52.0	44.5	127.5	243.0	241.5	398.0	156.0	304.5	136.0	97.5	48.5	83.0	1932.0
	1985年	30.5	285.5	230.5	148.0	270.0	504.0	443.0	405.5	111.0	84.5	29.5	49.0	2591.0
高知	1980年	86.0	24.0	170.0	235.5	407.5	279.0	342.0	506.0	232.0	289.5	235.5	30.5	2837.5
	1981年	5.5	109.0	202.0	296.5	115.0	170.5	367.5	292.0	192.5	115.5	116.5	15.5	1998.0
	1982年	61.5	59.5	261.5	193.5	228.5	119.0	675.5	324.5	305.5	42.0	286.0	28.0	2585.0
	1983年	20.0	57.5	252.5	363.0	200.0	216.5	206.0	83.0	292.0	249.0	8.0	21.0	1638.5
	1984年	69.5	85.0	70.0	327.5	157.0	648.0	227.0	322.0	80.0	126.0	109.5	57.0	2278.5
	1985年	22.0	161.5	239.5	396.5	282.0	309.0	98.0	434.0	332.5	232.5	24.0	41.0	2572.5
足尾	1980年	207.5	33.0	237.5	276.5	300.0	300.0	114.0	972.5	283.0	454.5	77.5	48.5	3304.5
	1981年	10.5	88.5	249.5	336.5	129.5	149.5	261.0	97.0	343.0	255.0	224.0	50.0	2194.0
	1982年	57.5	176.5	173.5	334.5	200.0	268.0	471.5	386.5	386.5	95.5	282.0	48.5	2880.5
	1983年	28.0	65.0	415.0	329.5	407.0	294.5	249.5	87.5	254.0	68.5	68.0	23.0	2239.5
	1984年	157.0	72.5	159.5	152.5	160.0	420.5	220.5	187.0	155.5	239.5	171.5	82.0	2178.0
	1985年	7.5	328.5	190.5	256.5	217.0	458.0	168.5	246.5	103.0	254.5	29.5	53.0	2313.0

表-5.8 日本の雨量区分 II-2

地名	年度	単位 mm												計
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
広島	1980年	35.5	38.0	163.5	122.5	274.5	145.0	455.0	426.5	79.5	135.0	78.0	32.5	1985.5
	1981年	23.5	65.5	108.0	186.0	124.0	465.0	187.0	84.5	67.0	116.5	84.0	28.0	1539.0
	1982年	31.0	52.5	149.0	130.5	79.5	55.0	512.0	69.0	184.0	37.5	144.5	15.5	1460.0
	1983年	40.5	47.0	202.5	180.5	127.0	206.0	246.0	82.0	391.0	70.5	16.0	36.5	1645.5
	1984年	33.0	52.5	71.5	209.5	92.0	316.5	71.0	70.5	127.5	82.0	46.0	59.5	1231.5
	1985年	11.5	141.0	198.0	179.0	199.0	658.5	215.0	26.0	184.0	126.5	37.5	30.5	2006.5

表-5.9 日本の雨量区分 II-3

地名	年度	単位 mm												計
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
浜松	1980年	124.5	14.0	189.0	267.0	340.5	205.0	421.5	232.0	133.5	276.5	132.0	30.5	2366.0
	1981年	13.5	65.0	230.5	252.5	184.5	140.0	49.5	209.0	164.0	297.5	160.5	19.0	1785.5
	1982年	22.0	103.0	147.5	119.5	138.5	194.5	543.5	364.0	504.5	75.0	237.0	54.5	2503.5
	1983年	27.5	27.5	231.5	251.0	134.5	348.5	196.0	392.0	278.5	225.5	32.0	17.0	2161.5
	1984年	27.5	76.0	88.5	110.0	161.5	323.0	33.5	78.5	117.0	27.5	36.5	39.0	1118.5
	1985年	23.5	78.0	159.0	196.0	218.5	453.0	80.0	225.5	132.5	58.5	141.0	16.0	1782.5
尾張	1980年	197.5	39.5	232.5	308.5	373.5	227.0	356.0	266.5	474.0	417.5	131.0	60.0	3083.5
	1981年	28.0	85.5	307.5	354.5	415.0	223.0	271.0	178.0	367.0	687.5	296.0	18.5	3231.5
	1982年	27.0	95.0	330.0	180.0	237.0	268.5	814.5	979.0	524.5	371.5	733.5	79.5	4640.0
	1983年	64.0	55.5	266.0	613.0	299.5	388.0	110.0	531.5	818.0	380.0	84.0	16.0	3625.5
	1984年	47.0	134.0	126.5	275.0	219.0	695.0	1518.0	562.5	186.0	84.5	78.0	391.0	4316.5
	1985年	30.5	283.0	333.5	618.0	241.5	846.5	172.5	703.0	336.5	212.5	280.0	33.0	4090.5
湖 脚	1980年	123.0	45.0	231.5	304.0	376.5	201.0	639.0	489.5	255.0	363.5	159.0	93.5	3280.5
	1981年	84.0	114.0	184.0	332.0	206.0	203.0	96.5	166.5	143.0	269.0	147.5	23.5	1969.0
	1982年	32.0	95.0	168.0	131.0	218.5	108.5	600.0	391.0	414.5	92.5	309.0	72.5	2632.5
	1983年	79.0	51.5	204.0	417.5	246.5	470.5	123.0	147.0	288.5	312.0	47.5	61.5	2448.5
	1984年	69.0	71.5	113.0	120.0	165.5	261.0	502.5	88.5	170.5	89.0	141.5	71.5	1863.5
	1985年	45.5	185.0	169.5	321.5	197.0	432.5	291.5	284.0	154.5	203.5	461.5	59.5	2575.5

表-5.10 日本の雨量区分 II-4

地名	年度	単位 mm												計
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
小名浜	1980年	60.0	18.0	183.0	129.5	172.0	91.0	180.0	78.0	83.0	206.0	72.0	118.0	1390.5
	1981年	1.5	38.5	119.5	202.0	190.0	183.0	24.5	150.5	149.5	256.5	53.5	4.0	1373.0
	1982年	59.5	20.5	78.5	150.5	150.0	197.5	95.5	126.0	354.0	172.0	85.0	16.5	1505.5
	1983年	31.0	62.5	125.0	117.5	101.5	123.5	169.5	62.5	237.5	112.5	54.5	30.0	1227.5
	1984年	52.5	76.0	31.0	50.5	75.5	163.5	75.5	5.0	58.0	109.5	57.0	59.0	813.0
	1985年	7.5	149.0	128.5	184.0	77.5	293.0	97.5	70.5	190.5	108.0	82.5	11.5	1400.0
水 戸	1980年	66.5	13.0	156.5	108.5	183.0	115.0	226.0	103.0	87.5	155.0	78.5	40.5	1333.0
	1981年	1.5	41.0	125.0	156.5	160.5	99.0	84.0	88.0	114.5	285.0	56.0	6.0	1217.0
	1982年	47.0	24.0	84.5	111.5	105.0	189.5	128.5	197.0	273.0	168.5	96.0	20.5	1445.0
	1983年	21.0	73.0	121.0	155.0	107.5	169.0	163.5	90.5	219.0	109.0	64.0	7.0	1299.5
	1984年	50.0	73.0	39.5	42.0	43.0	184.0	95.5	3.0	35.0	83.0	52.0	60.5	760.5
	1985年	5.0	193.5	135.0	181.5	80.5	319.0	129.0	124.5	115.0	98.0	61.0	22.0	1464.0
熊 子	1980年	180.5	38.5	163.0	109.0	198.0	95.5	203.0	147.5	261.5	210.5	142.0	115.0	1864.0
	1981年	21.0	47.5	132.0	201.0	106.5	102.5	14.0	61.5	123.0	173.5	128.5	16.5	1127.5
	1982年	25.0	89.0	130.5	117.0	84.5	157.0	214.5	228.0	370.0	203.0	176.5	47.5	1842.5
	1983年	36.0	91.5	179.5	121.0	61.0	231.0	172.5	177.0	257.5	255.5	134.5	38.5	1755.5
	1984年	113.5	88.0	83.0	70.0	43.5	244.0	32.0	0.5	54.5	122.0	99.5	115.5	1066.0
	1985年	21.0	192.0	150.0	165.0	138.0	328.5	54.0	42.0	134.5	56.0	105.5	43.5	1430.0

表-5.11 日本の雨量区分 (沖縄)

単位 mm

地名	年度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計
那 覇	1980年	116.5	107.5	105.5	525.0	97.0	20.0	101.5	89.5	154.0	203.0	197.5	38.0	1755.0
	1981年	52.0	66.5	376.0	93.0	198.0	43.0	167.5	181.0	62.0	137.5	71.0	76.5	1524.0
	1982年	68.0	140.0	98.0	123.5	268.5	269.0	86.0	195.5	299.5	49.0	199.0	180.5	1976.5
	1983年	163.5	176.5	420.0	143.5	261.5	161.0	220.0	288.5	384.5	25.5	5.0	44.5	2294.0
	1984年	111.5	42.0	205.5	145.0	215.5	97.5	97.5	403.0	96.5	84.0	119.0	71.0	1688.0
	1985年	46.0	281.0	64.0	152.5	152.0	181.0	107.5	479.5	140.0	90.0	91.0	221.0	2005.5

3) フィリピンと日本の降水量の比較結果

フィリピンと日本の月別降水量を比較すると次のようになる。

・気候区分については、フィリピンでは降水量パターンにより、図-5.7に示すように4つに区分され、一方日本では、図-5.8に示したように積雪地域を除外すると太平洋側(Ⅱ)では5つに区分される。

・フィリピンにおける調査対象区域についての降雨パターンを見ると

M-4、M-5、M-6 気候区分3型

M-10、M-11 " 2型

B-1、B-2、B-3 " 1型

となる。

一方日本の太平洋側における代表地域の降雨パターンは

水戸、小名浜、銚子 雨量区分Ⅱ-4

潮岬、尾鷲、浜松 " Ⅱ-3

広島 " Ⅱ-2

足摺岬、高知、宮崎 " Ⅱ-1

となる。

・月別平均降水量のパターンをフィリピンと日本で比較すると

フィリピン 3型 日本 Ⅱ-4型

フィリピン 1型 日本 Ⅱ-1型、Ⅱ-3型

に降雨傾向は類似する。ただ年降水量についてはフィリピンの方が日本より多い。またフィリピンの気候区分2型、4型に対応する雨量区分は日本では見られない。

図-5.9および図-5.10はフィリピンおよび日本の月別降水量を示したものである。

5.2.2 台風に伴う集中豪雨の降雨パターン

フィリピン、日本ともに台風に伴って集中豪雨の誘発されるケースが多いので、この降雨パターンを比較することとした。

表-5.12 降水量の最大記録(1)

(統計期間：統計開始年-1965年、*印は1961年ころまで冬期間観測不能のため欠測)

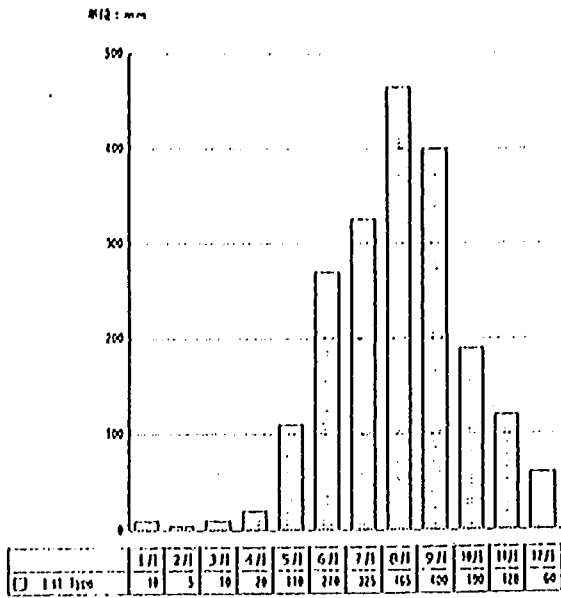
地 点	日 降 水 量					1 時 間 降 水 量					10 分 間 降 水 量				
	mm	年	月	日	統計開始	mm	年	月	日	統計開始	mm	年	月	日	統計開始
稚内 留 旭川 網走 札幌	156	1970	10	25	1938	*64	1938	9	1	1938	*16	1961	9	5	1938
	148	1973	8	18	1943	*45	1962	7	31	1943	*16	1953	7	31	1943
	184	1955	8	17	1898	*57	1912	8	14	1908	*20	1953	7	19	1937
	107	1935	8	30	1890	*37	1925	8	27	1919	*23	1969	8	1	1937
	207	1981	8	23	1876	50	1913	8	28	1889	*19	1953	8	14	1937
帯広 釧路 根室 寿都 浦河	161	1948	8	14	1893	*57	1975	7	17	1919	*26	1943	8	9	1938
	182	1941	9	6	1910	*56	1947	8	26	1940	*22	1952	6	20	1940
	144	1972	10	12	1889	53	1955	10	15	1889	*17	1947	8	26	1940
	206	1962	8	3	1888	*49	1973	8	10	1938	*15	1938	9	16	1938
	190	1981	8	5	1927	*44	1958	7	31	1939	*20	1984	8	3	1939
函館 青森 秋田 盛岡	176	1939	8	25	1883	63	1939	8	25	1889	*21	1959	9	11	1940
	188	1935	8	22	1886	*58	1943	8	13	1937	*18	1943	8	13	1937
	187	1937	8	31	1886	72	1964	8	13	1938	27	1964	8	13	1942
	190	1938	8	15	1923	63	1938	8	15	1923	22	1953	8	1	1940
	285	1899	10	29	1884	*64	1959	10	11	1937	*23	1959	10	10	1940
酒田 山形 仙台 福島 小名浜	168	1937	7	30	1937	*78	1949	8	24	1937	*24	1965	9	5	1937
	218	1913	8	27	1891	75	1981	8	3	1940	29	1958	8	2	1940
	329	1948	9	16	1926	94	1948	9	16	1937	30	1950	7	19	1937
	165	1913	8	27	1890	71	1966	8	12	1940	27	1966	8	12	1940
	227	1966	6	28	1910	62	1963	8	30	1940	20	1966	7	22	1940
松島 相模 新金 富山	219	1966	7	12	1930	74	1936	9	15	1930	25	1967	8	24	1930
	185	1978	6	26	1911	80	1961	8	4	1925	22	1958	9	1	1937
	165	1967	8	28	1886	54	1967	8	29	1914	24	1967	8	28	1937
	234	1964	7	18	1886	77	1950	9	18	1937	29	1953	8	24	1937
	208	1948	7	25	1939	75	1970	8	23	1939	33	1970	8	23	1939
長野 高野 宇都 都井 高井	115	1982	9	12	1889	*63	1933	8	13	1903	27	1947	8	17	1937
	176	1985	7	8	1923	64	1962	9	15	1923	24	1962	9	15	1937
	219	1957	8	7	1891	101	1957	8	7	1930	36	1982	6	21	1938
	201	1933	7	26	1897	56	1953	9	14	1940	20	1944	8	20	1940
	266	1910	9	7	1899	*52	1940	8	4	1914	*25	1975	6	15	1937
松本 軽井 前橋 熊谷 水戸	156	1911	8	4	1898	59	1981	7	18	1936	24	1947	8	28	1937
	319	1949	8	31	1925	*69	1960	8	2	1931	*39	1960	8	2	1937
	357	1947	9	15	1897	94	1955	8	6	1912	28	1967	6	2	1940
	302	1982	9	12	1897	89	1943	9	3	1915	36	1943	9	3	1940
	277	1938	6	29	1897	82	1947	9	15	1906	36	1959	7	7	1937
敦賀 岐阜 名古屋 飯田 甲府	211	1965	9	17	1898	58	1956	8	4	1937	23	1963	7	24	1937
	260	1961	6	26	1883	100	1914	7	24	1903	29	1975	7	24	1937
	240	1896	9	9	1891	92	1919	7	18	1891	23	1941	8	24	1940
	325	1961	6	27	1898	80	1960	8	5	1929	22	1973	8	4	1937
	245	1945	10	5	1895	73	1978	7	8	1937	23	1953	7	9	1937

降水量の最大記録(2)

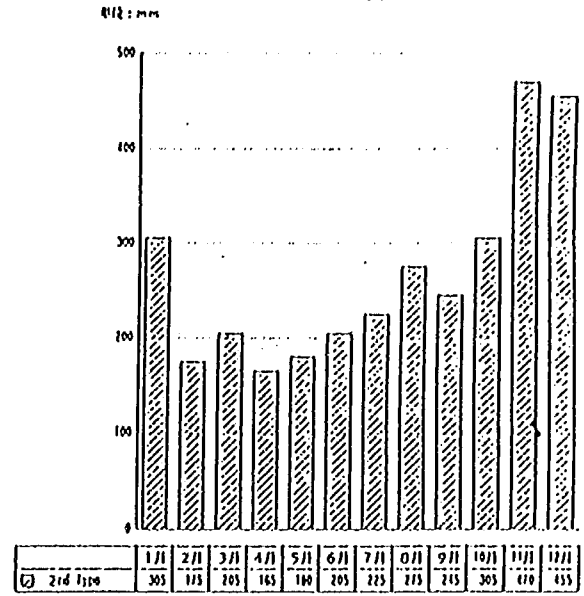
(統計期間：統計開始年-1965年)

地 点	日 降 水 量				1 時 間 降 水 量				10 分 間 降 水 量						
	mm	年	月	日	統計開始	mm	年	月	日	統計開始	mm	年	月	日	統計開始
銚子	311	1947	8	28	1887	140	1947	8	28	1912	31	1957	10	6	1937
津	288	1959	8	13	1889	95	1959	8	13	1916	30	1946	10	12	1913
浜松	344	1910	8	9	1886	88	1982	11	30	1940	32	1982	11	30	1940
静岡	298	1982	9	12	1940	95	1964	6	27	1940	26	1982	11	30	1940
東京	393	1958	9	26	1876	89	1939	7	31	1886	35	1966	6	7	1940
尾鷲	806	1968	9	26	1940	139	1972	9	14	1940	36	1960	10	7	1940
横浜	287	1958	9	26	1897	63	1946	11	27	1940	25	1981	7	22	1940
大島	473	1982	9	12	1939	108	1980	10	14	1939	27	1979	10	18	1939
八丈	439	1941	9	19	1907	89	1965	9	25	1937	30	1976	10	9	1937
西郷	177	1958	7	25	1939	59	1945	9	18	1939	25	1946	9	10	1939
松江	264	1964	7	18	1940	78	1944	8	25	1940	26	1958	8	1	1940
島根	188	1976	9	10	1943	68	1981	7	3	1943	24	1969	9	7	1943
広島	332	1983	7	23	1893	91	1983	7	23	1912	27	1963	8	30	1940
京都	289	1959	8	13	1881	88	1980	8	26	1906	26	1980	8	26	1938
彦根	597	1896	9	7	1894	63	1971	7	8	1894	27	1964	9	20	1940
下関	337	1904	6	25	1883	77	1953	6	28	1908	23	1940	7	24	1937
岡山	340	1926	9	11	1879	79	1926	9	11	1888	25	1948	9	12	1937
岡山	177	1892	7	23	1891	67	1950	9	7	1940	27	1961	7	9	1940
神戸	319	1967	7	9	1897	88	1939	8	1	1897	28	1958	9	11	1937
大阪	251	1957	6	26	1883	78	1979	9	30	1889	22	1939	9	26	1937
和歌山	296	1956	9	25	1879	99	1952	7	10	1940	35	1950	4	5	1940
高知	421	1939	10	17	1913	145	1972	11	14	1937	38	1972	11	14	1940
奈良	182	1959	8	13	1953	59	1968	7	6	1953	25	1959	8	6	1953
奈良	393	1916	9	24	1888	112	1915	11	25	1904	29	1927	9	2	1904
福岡	270	1941	6	26	1939	73	1957	8	3	1939	23	1962	9	13	1939
佐賀	367	1953	6	25	1890	102	1937	7	25	1926	27	1950	8	6	1926
大分	444	1908	8	10	1887	71	1948	8	16	1937	29	1948	8	16	1941
熊本	448	1982	7	23	1878	128	1982	7	23	1897	36	1959	7	8	1940
鹿児島	481	1957	7	25	1891	77	1975	6	25	1891	22	1963	7	1	1937
鹿児島	306	1917	6	16	1883	89	1941	7	11	1902	24	1950	7	9	1939
宮崎	587	1939	10	16	1886	134	1939	10	16	1924	30	1939	10	16	1937
福岡	326	1985	6	28	1962	114	1967	7	9	1962	26	1968	12	18	1962
松山	215	1943	7	23	1890	53	1963	8	30	1937	21	1972	7	10	1937
高松	192	1972	9	16	1941	67	1950	8	6	1941	23	1947	7	15	1941
高知	525	1976	9	12	1886	107	1954	6	29	1940	27	1976	9	11	1940
徳島	472	1891	8	2	1891	87	1950	9	3	1901	32	1983	9	7	1937
徳島	421	1980	8	4	1941	150	1944	10	17	1941	49	1946	9	13	1941
香川	446	1949	7	5	1920	124	1949	7	5	1925	38	1942	9	17	1940
高松	547	1903	5	29	1896	116	1949	10	21	1896	28	1968	9	23	1937
高松	469	1959	10	16	1890	95	1985	8	13	1900	30	1979	6	11	1941

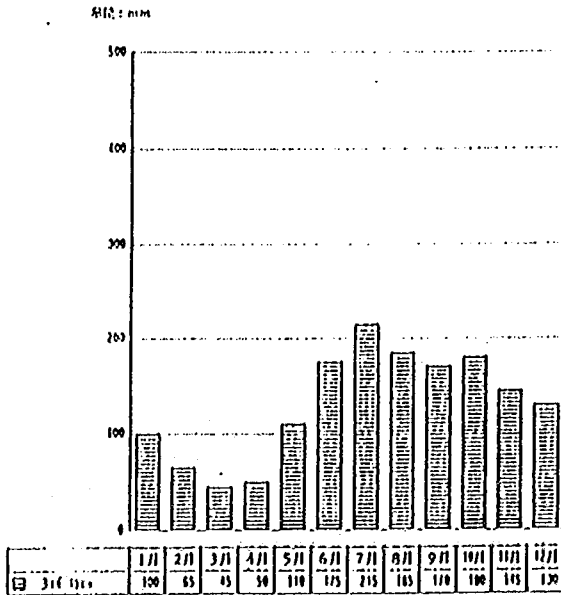
1st Type



2nd Type



3rd Type



4th Type

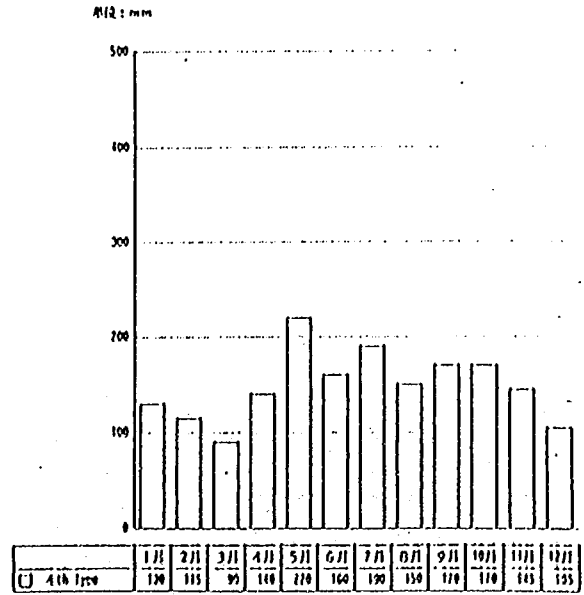
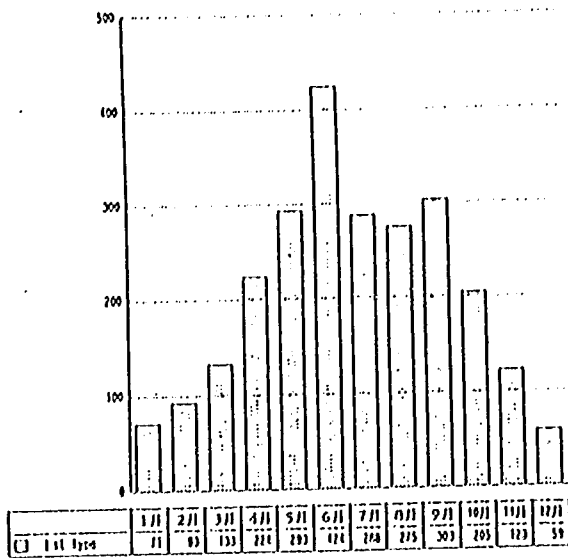


図-5.9 フィリピンの降雨パターン

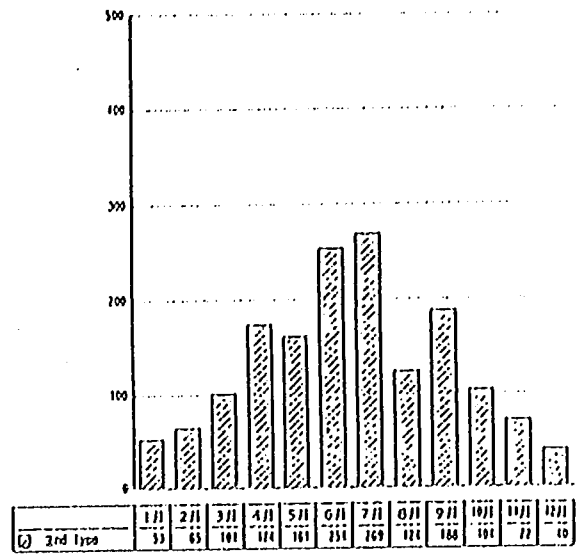
Ⅱ-1 (宮崎)

単位: mm



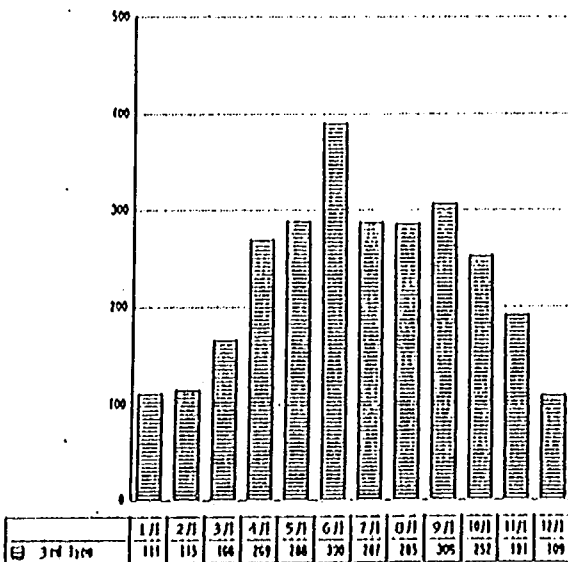
Ⅱ-2 (広島)

単位: mm



Ⅱ-3 (潮岬)

単位: mm



Ⅱ-4 (小名浜)

単位: mm

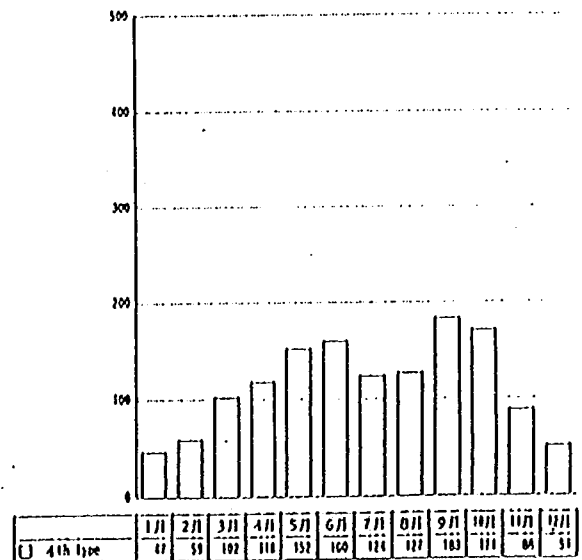


図-5.10 日本における降雨パターン

フィリピンおよび日本の台風に伴う集中豪雨の時間降雨量および連続雨量から降雨パターンを次のように設定した。(図-5.11)

- ・S型：降り始めと終わりの時間降雨量が少なく中間の時間降雨量が著しいタイプ
- ・凸型：降り始めから中間にかけての時間降雨量が多く、後半の時間雨量が少なくなるタイプ
- ・凹型：降り始めから中間にかけての時間降雨量が少なく後半にかけての時間降雨量が逆に多くなるタイプ
- ・直線型：降雨時間が短く、ほぼ一定した時間降雨量を示すタイプ
- ・複合型：時間降雨量の変化が著しいタイプ

上記タイプを模式的に示すと次のとおりである。

1) フィリピンにおける台風時の降雨パターン

各台風における降雨パターン、降雨時間、連続雨量および最大時間雨量を表-5.13に示した。

法面崩壊を誘発する降雨パターンはS型のものが多い。このパターンでは降雨時間が他のパターンに比較して長時間であるため、連続雨量が多い。一方複合型のパターンでは連続雨量、時間降雨強度が小さく、法面の安定しているケースが多い。

2) 日本における台風時の降雨パターン

収集した台風時の降雨資料からフィリピンと同じスケールで連続雨量および時間降雨量をプロットし、降雨パターンの推定を行った。

各台風における連続雨量、最大時間降雨強度および降雨パターンを判読し、表-5.14に示した。

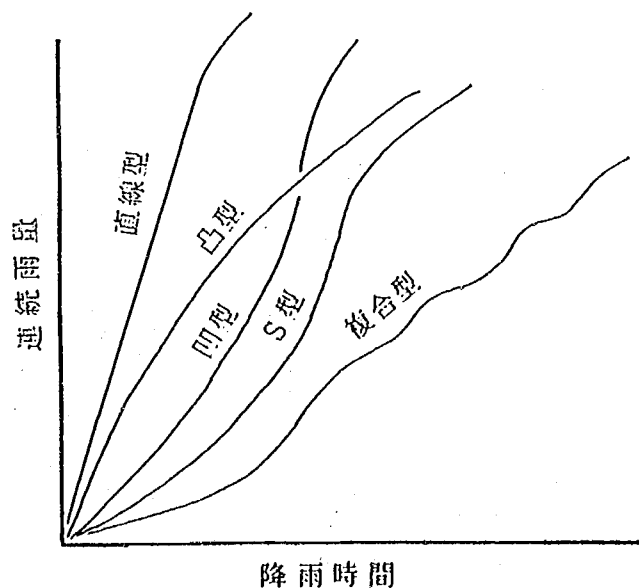


図-5.11

表-5.13 Kennon、Naguilian Rord集中豪雨の降水パターン

台風名	Kennon Rord				Naguilian Rord			
	連続雨量	降雨時間	最大時間 降雨強度	降 雨 パター ン	連続雨量	降雨時間	最大時間 降雨強度	降 雨 パター ン
	(mm)	(H)	(mm)		(mm)	(H)	(mm)	
Gading	1,320.0	55	(24.0) 69.0	S 型	1,110.0	48	(23.13) 56.0	S 型
Kuring	711.0	47	(15.12) 44.0	S 型	475.0	42	(11.31) 35.0	S 型
Daling	327.5	18	(18.19) 29.5	直 線	417.5	23	(18.15) 51.5	S 型
Ibiang	195.0	24	(8.13) 46.0	複合型	175.0	13	(13.46) 42	複合型
※ Huling	137.5	35	(3.93) 11.0	複合型	150.0	27	(5.56) 13.5	複合型
※ Saling	155.0	20	(7.75) 13.5	複合型				複合型
※ 6/27/86					155.0	5	(31.0) 77.5	直線型

※ 法面崩壊を誘発しなかった台風 () 平均時間降雨強度

表-5.14 日本における集中豪雨の降雨パターン

台 風 名	地 点	連続雨量	降雨時間	最 大 時 間 雨 量	降 雨 パ ター ン
		(mm)	(H)	(mm)	
台風18号	静 岡	380.0	36	(10.56) 47.5	凹 型
"	長 崎	520.0	12	(43.33) 116.0	直 線
台風10号	三 重	349.5	29	(12.05) 33.0	凹 型
"	諏 訪	320.0	43	(7.44) 27.0	凹 型
"	五 木	199.5	12	(16.63) 39.5	直 線
台風 5号	富士吉田	325.0	24	(13.54) 80.0	凹 型
台風 6号	"	415.0	34	(12.20) 43.8	複合型

() 平均時間降雨強度

日本における集中豪雨の降雨パターンでは凹型または直線状のパターンが多い。

3) フィリピンと日本の台風時の降雨パターンの比較結果

台風に伴う集中豪雨の降雨パターンについて、フィリピンと日本の比較を行うと次のことが明らかとなった。

- ・降雨パターンについて見るとフィリピンではS型が多く、一方日本では凹型が顕著である。

このことはフィリピンは中間で時間降雨強度が大となるが、日本では中間から終わりにかけて急激に時間降雨強度が大となり、異なった降雨パターンを示している。

- ・法面崩壊の誘因となる連続雨量はフィリピン、日本ともに150～200mm以上であり、同じ傾向である。

- ・最小降雨時間はフィリピン、日本ともに12～13時間以上でこの時の最大時間降雨強度は40mm以上と同傾向である。このことから連続降雨時間10時間、連続雨量150mmが崩壊、非崩壊の限界と予想される。

- ・平均時間降雨強度はフィリピン、日本ともに10mm以上であり、同傾向を示している。

図-5.12、図-5.13はフィリピンおよび日本における代表的な集中豪雨時の降雨パターンを示したものである。

5.3 道路法面の比較

フィリピンと日本の法面の比較を行う前に、フィリピンおよび日本の道路状況についてまとめることとした。

5.3.1 フィリピンの道路状況

1) 道路輸送への依存

フィリピンの輸送体系は、海上、道路、鉄道および航空輸送から構成され、1980年における各輸送機関別の輸送量は表-5.15に示すとおりである。支配的な輸送機関は道路輸送であり、人の輸送の90%、貨物輸送の65%を占めている。約7,100からの島々からなる多島国家であるフィリピンにおいて、島間輸送の主力が海上輸送にあるにも拘らず、島内輸送は海上輸送よりも道路輸送への依存度が高い。また、内貿易海運貨物のうち島内（沿岸）輸送はわずか6%にすぎず残りは島間輸送である。従って、島内貨物輸送の大半（約97%）は道路輸送に依存している。

2) 輸送施設としての道路

1983年現在における道路総延長は155,475kmであり、道路密度は0.52km/km²である。幹線道路網を形成する国道の総延長は23,961kmである。積極的な国道整備が実施されてきた1975年から1983年までの7年間で国道延長は2,296km（または1.1倍）伸び、道路密度は0.07から0.08に増加し、舗装率は39%から44%に上昇した。表-5.16は1975～1983年までの道路の整備状況を示したものである。

表-5.17は、調査地域に包含されるリージョンのリージョン別国道延長を示したものである。

KENNON ROAD 1986

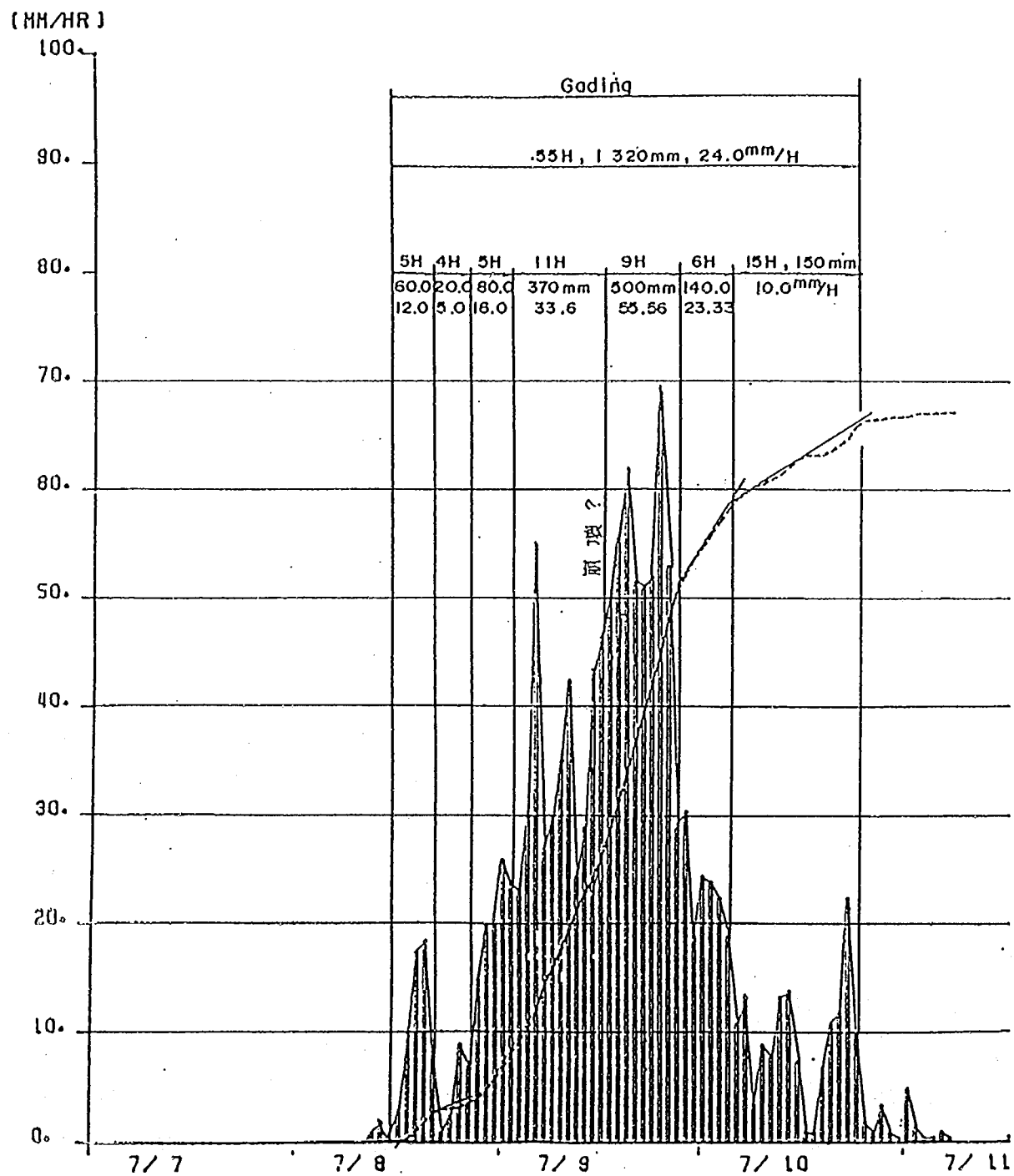


図-5.12 フィリピンにおける代表的な降雨パターン

〔MM/HR〕 静岡(台風18号) 1982年

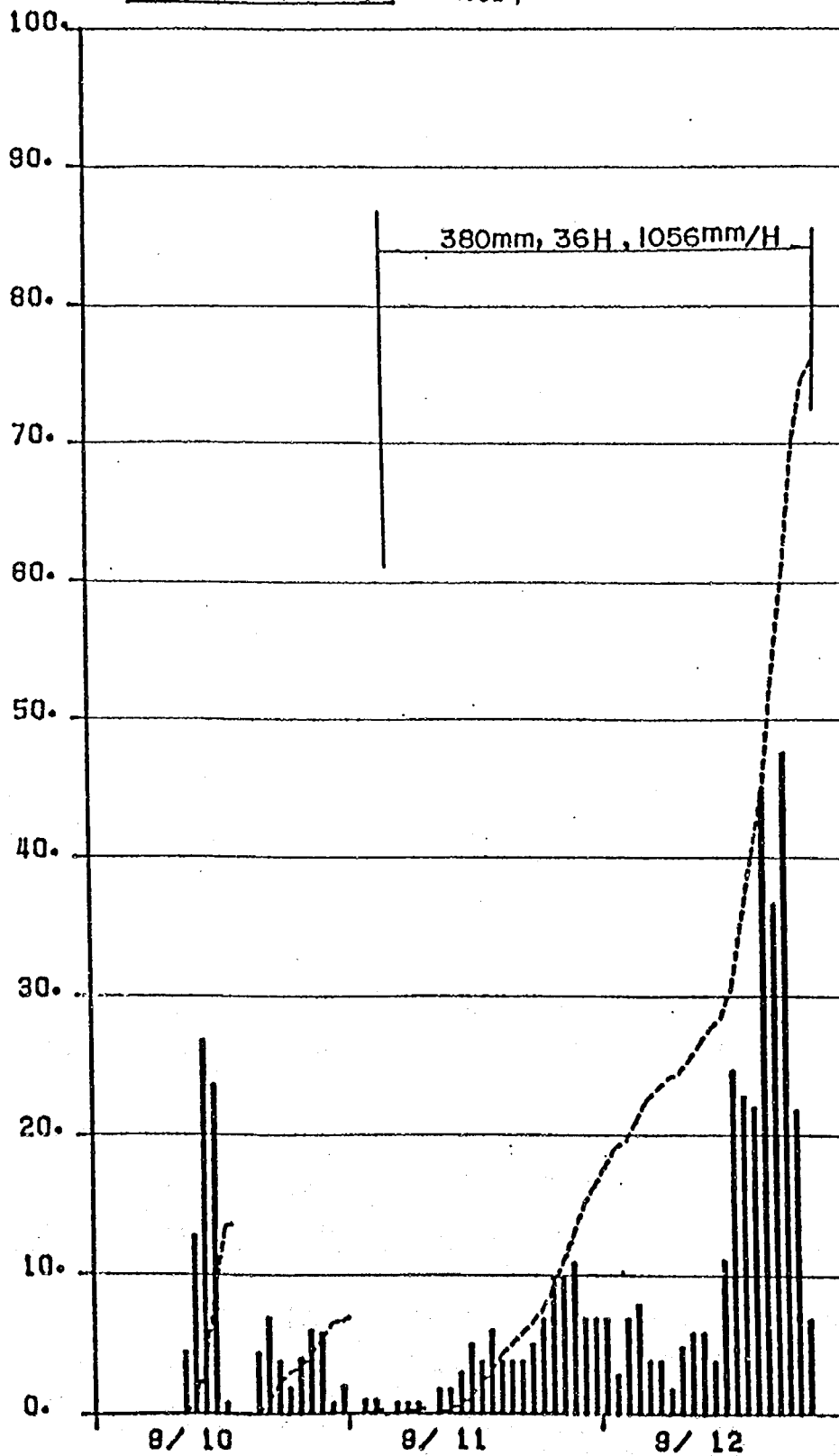


図-5.13 日本における代表的な降雨パターン

表-5.15 フィリピンにおける輸送体系, 1980(DOMESTIC TRAFFIC ONLY)

(DOMESTIC TRAFFIC ONLY)

Mode	貨物輸送 T/Km	占有率 (%)	人の輸送 人/Km (百万)	占有率 (%)
海上輸送	12	(35)	4	(7)
道路輸送	22	(65)	53	(90)
鉄道輸送	0.04	(-)	0.4	(1)
航空輸送	Negligible	(-)	1.2	(2)

Source: NTPP

表-5.16 道路総延長(1975-1983)

	延 長				延長比率 1983/ 1975	道路密度	
	1975 (Kms)	(%)	1983 (Kms)	(%)		1975	1983
国 道							
舗装道路	8,413	(39)	10,658	(44)	1.27		
未舗装道路	13,252	(61)	13,303	(56)	1.00		
小 計	21,665	(100)	23,961	(100)	1.11	0.07	0.08
地方道							
舗装道路	9,131	(11)	13,710	(10)	1.50		
未舗装道路	73,634	(89)	117,804	(90)	1.60		
小 計	82,765	(100)	131,514	(100)	1.59	0.28	0.44
舗装道路	17,544	(17)	24,368	(16)	1.39		
未舗装道路	86,886	(83)	131,107	(84)	1.51		
合 計	104,430	(100)	155,475	(100)	1.49	0.35	0.52

Source: Planning Service, MPWH

表-5.17 各県別(Region)の道路総延長：1983

	Philippin	Region	Region	Region	Region	Region	Region
	I	II	III	IV - A	V	VI	VII
国 道							
舗装道路 (km)	10,658	1,227	493	1,266	1,390	886	672
未舗装道路 (km)	13,303	932	1,691	595	544	759	1,211
計 (km)	23,961	2,159	2,284	1,861	1,934	1,645	1,883
道路密度 (km / km ²)	0.08	0.10	0.06	0.10	0.10	0.09	0.09
舗装率 (%)	44	57	22	68	72	54	36

Source : Planning Service, MPWH

5.3.2 フィリピンにおける法面災害

フィリピンにおける法面災害は主として台風に伴う集中豪雨が誘因となって多発しているのが現状であり、調査対象区間の現状から推定すると崩壊土砂を取り除く応急対策が主体であり、恒久的な対策工を実施した地点は数少ないと考えられる。

調査対象区間の法面災害の状況からフィリピンにおける法面災害のタイプを挙げると次のようになる。

1) 切土法面災害のタイプ

切土法面災害には、表層の浅い崩壊と深い崩壊とに分類される。浅い崩壊は、一般的に浸食されやすい土砂層、強風化軟岩および構造的弱線の存在する法面で主として発生し、降雨が誘因である。一方、深い崩壊は洗掘、円弧すべり的な崩壊、直線移動的な崩壊によって生じるもので浅い崩壊より規模が大きく、またすべり面の深度も5.0m以上と深い。

2) 盛土の法面災害

盛土の法面災害は、浸食によって生じる盛土法面の浅い崩壊と、洗掘あるいは浸透水によって盛土の基礎地盤から崩壊する深い崩壊とに分類される。このタイプは降雨による路面水が盛土部に集中することが原因であり路面排水系統の整備が急務である。

3) 自然斜面の災害

自然斜面の災害としては落石（切土法面からの落石も含む）地すべり、土石流がある。

(1) 落石

落石は、2つのタイプに分類できる。割れ目の多い岩盤斜面から遊離した岩の落下（はく離型）と、斜面上の石や岩の落下（抜け落ち型）である。

(2) 地すべり

切土または盛土により、あるすべり面に沿ってすべり面上の土塊が滑動するもので、アゴー・バギオ道

路やケノン道路に2～3ヶ所の地すべりが存在する。

(3) 土石流

河床にある堆積物は、洪水時の掃流力によって土石流となる。フィリピンでは集中豪雨時に土石が道路上に溢流し、しばしば障害となっている。

5.3.3 日本の道路事情

日本における道路の整備状況、交通量および整備計画についてまとめると次のとおりである。

1) 道路整備事情

1985年の日本の道路総延長は、1,123,950kmであり、その内訳は一般国道46,435km (4.1%)、都道府県道127,436km (11.3%) および市町村道950,078km (84.5%) となっている。

これら道路の種類別ごとの整備状況を示したものが表-5.18道路種類別整備状況である。

表-5.18によると一般国道の改良率は84.1%、舗装率は(簡易舗装を含む) 96.7%であるのに対し、整備率は56.1%で改良率、舗装率に比較し、低い整備率となっている。

都道府県道の改良率は50.36 %、舗装率87.7%、整備率43.3%であり、市町村道はそれぞれ34.3%、51.8%、34.3%となっている。

2) 道路交通量

表-5.19は昭和37年度から60年度までの道路交通量の推移を示したものである。(市町村道を除く)。

表-5.19によると、1985年現在の平均交通量は12時間当り、高速道路では17,367台、一般国道7,200台、都道府県道2,809台で、その平均は4,305台であり、現在の経済状況から推定すれば、さらに増加していると予想される。

5.3.4 日本の道路災害

日本列島は、環太平洋地震帯に属し、火山や地震の多い、地盤の不安定なところである。気候はモンスーン地域に属し、冬の寒冷および日本海側の豪雪、梅雨、秋雨に伴う豪雨、強い雨を伴う台風などの影響を常に受けている。また地形も国土の4分の3が山地で斜面傾斜の急峻な山が多く、その地質は、岩質の変化が著しい。また破碎帯が多く風化の進んだ脆弱な地質も発達し、集中豪雨によって法面災害を誘発しやすい自然条件を備えている。

このため、しばしば災害が発生し、道路交通に影響を及ぼしており、昭和57年度における自然災害による道路の被災は、交通止めを伴うものだけでも約4万9千件に及んでいる。また、事前規制を含めた交通止めは延べ2,664時間に達し、国民の生活や、経済に大きな影響を与えている。

すでに明らかなように日本においては、地形地質的に、また台風に伴う集中豪雨、火山活動に伴う地震など法面災害を誘発しやすい自然条件が全国に存在し、各地で法面災害の発生しているのが現状である。崩壊、地すべり、土石流などは土砂災害として総称され図-5.14のように分類されている。(道路土工、のり面工、斜面安定工指針)

表-5.18 道路種類別整備状況

(昭和60年4月1日現在)

区 分	実 延 長 (km)	整 備		改 良		舗 装				4車線以上 の 道 路		歩道設備 の 道 路		道路部	車道部
		整備率 (%)	整備済延長 (km)	改良率 (%)	改良済延長 (km)	舗 装		簡易舗装を含む舗装		道路率 (%)	延 長 (km)	設置率 (%)	延 長 (km)	平均幅員 (m)	平均幅員 (m)
						舗装率 (%)	舗装済延長 (km)	舗装率 (%)	舗装済延長 (km)						
一般国道(指定区間)	20,079	54.6	10,963	98.9	19,849	96.7	19,422	98.8	19,833	14.9	2,997	62.6	12,565	12.8	8.3
" (指定区間外)	26,356	57.2	15,087	72.8	19,197	73.0	19,235	95.0	25,047	3.5	930	33.2	8,745	8.9	6.3
一 般 国 道 計	46,435	56.1	26,050	84.1	39,046	83.3	38,658	96.7	44,880	8.5	3,927	45.9	21,310	10.6	7.1
主 要 地 方 道	49,947	49.9	24,929	61.2	30,588	54.5	27,207	92.4	46,157	3.5	1,768	24.4	12,208	8.2	5.9
一般都道府県道	77,489	39.0	30,248	43.3	33,575	33.6	26,074	84.6	65,581	1.8	1,367	14.8	11,443	6.9	5.0
都道府県道計	127,436	43.3	55,177	50.3	64,163	41.8	53,281	87.7	111,738	2.5	3,135	18.6	23,651	7.4	5.4
国・都道府県道計	173,871	46.7	81,227	59.4	103,209	52.9	91,938	90.1	156,617	4.1	7,062	25.9	44,961	8.3	5.8
市 町 村 道	950,078	34.3	326,125	34.3	326,125	12.4	118,087	51.8	492,318	0.5	4,874	3.7	35,611	4.2	3.1
計	1,123,950	36.2	407,352	38.2	429,333	18.7	210,025	57.7	648,935	1.1	11,936	7.2	80,572	4.8	3.5

- (注) 1. 高速自動車国道を除く。
 2. 整備率及び整備済延長は昭和60年度全国道路交通センサスによる。
 3. 市町村道の整備率及び整備済延長は改良率及び改良済延長である。
 4. 改良率及び改良済延長のうち都道府県道以上は車道幅員5.5m以上のものである。
 5. 舗装については簡易舗装(左欄)を除いた数値及び簡易舗装(右欄)を含む数値を併記
 6. 4車線以上とは改良済かつ車道幅員13.0m以上のものである。

出典：道路統計年報 1985年

$$\text{整備率} = \frac{\text{改良済かつ混雑度1.0未満の延長}}{\text{道路の実延長}}$$

$$\text{混雑度} = \frac{\text{交通量}}{\text{交通容量}}$$

表-5.19 道路交通量の推移

年 項目 道路種別	37			40			43		
	調査延長 (km)	走行台キロ (千台* $\frac{1}{12}$ h)	平均交通量 (台/12h)	調査延長 (km)	走行台キロ (千台* $\frac{1}{12}$ h)	平均交通量 (台/12h)	調査延長 (km)	走行台キロ (千台* $\frac{1}{12}$ h)	平均交通量 (台/12h)
高速自動車国道									
都市高速道路									
高速道路計									
一般国道(直轄)	12,910.7	34,367	2,662	12,957.5	68,480	5,285	12,704.7	101,216	7,967
一般国道(その他)	14,796.6	13,743	929	15,029.0	29,641	1,972	15,024.3	96,154	3,072
一般国道計	27,707.3	48,110	1,736	27,986.5	98,121	3,506	27,729.0	147,369	5,315
主要地方道	23,243.1	19,318	831	31,465.5	48,981	1,557	32,527.7	77,730	2,390
一般都道府県道	20,622.4	11,193	543	48,725.3	37,626	772	84,558.3	81,520	964
都道府県道計	43,865.5	30,511	696	80,190.8	86,608	1,080	117,086.0	159,250	1,360
一般道路計	71,572.8	78,621	1,098	108,177.3	184,729	1,708	144,815.0	306,619	2,117
合計									

年 項目 道路種別	46			49			52		
	調査延長 (km)	走行台キロ (千台* $\frac{1}{12}$ h)	平均交通量 (台/12h)	調査延長 (km)	走行台キロ (千台* $\frac{1}{12}$ h)	平均交通量 (台/12h)	調査延長 (km)	走行台キロ (千台* $\frac{1}{12}$ h)	平均交通量 (台/12h)
高速自動車国道	621.5	11,129	17,906	1,306.4	22,657	17,343	2,034.0	30,224	14,860
都市高速道路	161.9	8,034	49,625	182.8	9,520	52,080	205.8	10,038	48,778
高速道路計	783.4	19,163	24,461	1,489.2	32,177	21,607	2,239.8	40,262	17,976
一般国道(直轄)	12,842.5	133,121	10,365	13,009.1	142,808	10,978	18,859.1	179,248	9,505
一般国道(その他)	20,507.3	79,204	3,862	20,588.9	91,423	4,440	20,256.2	84,712	4,182
一般国道計	33,349.8	212,325	6,367	33,598.0	234,232	6,972	39,115.3	263,960	6,748
主要地方道	35,756.3	107,484	3,006	37,938.9	125,190	3,300	41,955.3	142,860	3,405
一般都道府県道	79,427.5	110,188	1,387	82,399.7	136,518	1,657	77,033.1	148,029	1,922
都道府県道計	115,183.8	217,672	1,890	120,338.6	261,708	2,175	118,988.4	290,889	2,445
一般道路計	148,533.6	429,998	2,895	153,936.6	495,940	3,222	158,103.7	554,848	3,509
合計	149,317.0	449,161	3,008	155,425.8	528,117	3,398	160,343.5	595,110	3,711

年 項目 道路種別	56			58			60		
	調査延長 (km)	走行台キロ (千台* $\frac{1}{12}$ h)	平均交通量 (台/12h)	調査延長 (km)	走行台キロ (千台* $\frac{1}{12}$ h)	平均交通量 (台/12h)	調査延長 (km)	走行台キロ (千台* $\frac{1}{12}$ h)	平均交通量 (台/12h)
高速自動車国道	2,698.8	38,933	14,426	3,231.4	47,754	14,778	3,584.6	51,893	14,477
都市高速道路	250.8	12,316	49,106	306.4	14,733	48,084	325.2	16,007	49,221
高速道路計	2,949.6	51,249	17,375	3,537.8	62,487	17,663	3,909.8	67,900	17,367
一般国道(直轄)	19,025.0	191,007	10,065	19,604.3	205,080	10,462	19,713.0	208,403	10,573
一般国道(その他)	20,920.7	93,836	4,538	26,657.2	120,728	4,573	26,645.5	123,550	4,681
一般国道計	39,945.9	248,843	7,183	46,261.5	325,808	7,082	46,358.5	331,952	7,200
主要地方道	43,582.3	156,748	3,658	49,846.7	180,439	3,679	49,945.9	184,220	3,747
一般都道府県道	86,583.6	165,874	2,003	76,634.1	157,340	2,142	77,178.7	162,282	2,187
都道府県道計	130,165.9	322,622	2,568	126,480.8	337,779	2,757	127,124.6	346,502	2,809
一般道路計	170,111.8	607,466	3,675	172,742.3	663,587	3,938	173,483.1	678,455	4,004
合計	173,061.4	658,715	3,915	176,280.1	726,074	4,220	177,392.9	746,355	4,305

(注) 1. 昭和40年までは、一般都道府県道はその全部を調査対象としてはいない。
2. 昭和39年までは、一般国道の区分は、元一級国道、元二級国道である。

出典：道路統計年表 1985年

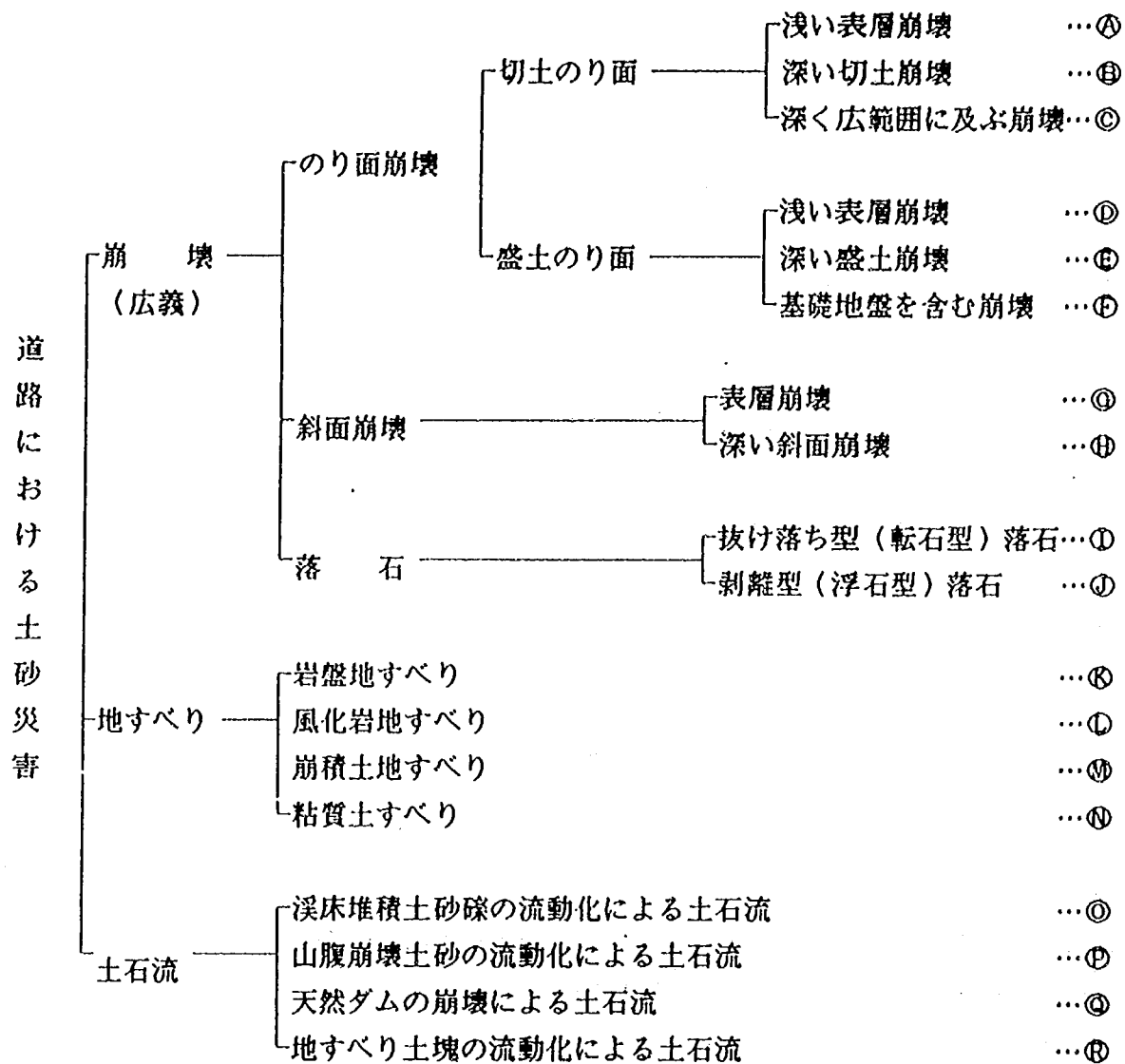


図-5.14 道路における土砂災害の分類

5.3.5 フィリピンと日本の法面安定性に対する比較

フィリピン、日本共に台風に伴う集中豪雨により法面災害が多発しているので、現況における法面の安定性を比較することを考えた。ただ比較する対象法面について、フィリピンでは切土法面調査を行った458法面を選定したが、日本ではこれに対応する資料がなく同一条件で、両国の法面の安定性を比較することには問題がある。

そこで単純に各要因についての安定性を列挙することとした。

ここでいう安定性とは、各要因に対応する未崩壊法面と崩壊法面との比率である。

なお、日本の法面の安定性に用いた資料は昭和44年度に実施した法面工の効果ならびに選定基準に関する研究※

道路局国道一課

土木研究所 土質研究室

〃 地質研究室

※土木研究所資料 第731号 昭和47年2月

である。

この調査は代表的な全国の直轄国道の設計、施工された法面について行った実態調査の結果をまとめたもので、土質、岩質、勾配、高さ、法面保護工の種類などと過去の崩壊履歴、安定性などについて調査標を作成し、集計、解析したものである。

従ってフィリピンの場合のように調査対象にした法面の母数が明確ではなく、また限られた年数内（フィリピンでは過去3年間）における崩壊数を明らかにしたものではないため未崩壊、崩壊の数のみからフィリピンと日本の切土法面の安定性を比較することは適当ではないので、フィリピンおよび日本における要因、カテゴリー別の特性をまとめることとした。

1)法面の安定性

(1) 法面勾配について

集計は土砂法面と岩盤法面に区分して行った。その結果を表-5.20、表-5.21に示したとおりである。

表から明らかなように日本では土砂からなる法面では勾配が $45\sim 60^\circ$ の場合が最も安定性が悪く、 $\sim 45^\circ$ が最も安定性が良い。一方フィリピンでは勾配が急になるほど法面は不安定となり崩壊を発生する法面が多くなる。

集計結果から岩盤法面についてみると日本では $45\sim 60^\circ$ の勾配で安定性が低く、フィリピンでは土砂法面と同様に勾配が 60° 以上のとき安定性が低下する傾向が見られる。

(2) のり高さ

のり高さも、法面勾配と同様に、土砂法面、岩盤法面に区分し、その集計結果をまとめると表-5.22、表-5.23のようになる。

集計結果から見ると、日本ではのり高さが高くなるに従って、法面の安定性が低下し、崩壊を多発する傾向が見られる。一方フィリピンでは、高さによる法面の安定性は同一傾向であり、のり勾配に支配され、急勾配ほど安定性が低く、崩壊を発生しやすいことを示している。

岩盤法面におけるのり高さによる安定性の集計結果では、日本の場合は $10\sim 30\text{m}$ が最も安定性が良く、 30m 以上で低い。フィリピンでは切土高さが 10m 以下のときに安定性は最も低い。

(3) 法面保護工

法面保護工についても法面を土砂法面、岩盤法面に区分し、表-5.24～表-5.25のようにまとめた。集計結果から明らかなように、法面保護工を施工していないフィリピンでは全体に法面の安定性が低い。特に構造物については崩壊防止の効果をまったく発揮していない。また植生についても日本の人工的な植生に比較して、フィリピンの自然植生は法面保護工としての効果が低い。

日本では無処理の法面は非常に安定性が低く、法面保護工の早期着工が要求される。一方、フィリピン

表-5.20 切土のり勾配の安定性 (土砂法面)

のり勾配	日 本					フィリピン				
	個数	安 定		崩 壊		個数	安 定		崩 壊	
		個数	比率%	個数	比率%		個数	比率%	個数	比率%
～45°	108	76	70.4	31	29.6	36	22	61.1	14	38.9
45～60°	34	17	50.0	17	50.0	66	31	47.0	35	53.0
60°	21	12	57.1	9	42.9	40	9	22.5	31	77.5
合計	163	105	64.4	58	35.6	142	62	43.7	80	56.3

表-5.21 切土のり勾配の安定性 (岩盤法面)

のり勾配	日 本					フィリピン				
	個数	安 定		崩 壊		個数	安 定		崩 壊	
		個数	比率%	個数	比率%		個数	比率%	個数	比率%
～45°	54	29	53.7	25	46.3	21	11	52.3	10	47.7
45～60°	66	28	42.4	38	57.6	153	95	62.1	58	37.9
60°	181	90	49.7	91	50.3	224	114	50.9	110	49.1
合計	301	147	48.8	154	51.2	398	220	55.3	178	44.7

表-5.22 のり高さによる安定性 (土砂法面)

のり高さ	日 本					フィリピン				
	個数	安 定		崩 壊		個数	安 定		崩 壊	
		個数	比率%	個数	比率%		個数	比率%	個数	比率%
～10m	73	53	72.6	20	27.4	43	18	41.9	25	58.1
10～30	84	50	59.5	34	40.5	75	34	45.3	41	54.7
30	6	2	33.3	4	66.7	24	10	41.6	14	58.4
合計	163	105	64.4	58	35.6	142	62	43.7	80	56.4

表-5.23 のり高さによる安定性 (岩盤法面)

のり高さ	日 本					フィリピン				
	個数	安 定		崩 壊		個数	安 定		崩 壊	
		個数	比率%	個数	比率%		個数	比率%	個数	比率%
～10m	70	33	47.1	37	52.9	66	32	48.5	34	51.5
10～30	208	104	50.0	104	50.0	220	125	56.8	95	43.2
30	41	18	43.9	23	56.1	112	63	56.3	49	43.7
合計	319	155	48.6	164	51.4	398	220	55.3	178	44.7

表-5.24 のり面保護工からみた安定性（土砂法面）

のり面 保護工	日 本					フィリピン				
	個数	安 定		崩 壊		個数	安 定		崩 壊	
		個数	比率%	個数	比率%		個数	比率%	個数	比率%
無処理	46	14	30.4	32	69.6	36	15	41.7	21	58.3
構造物	277	175	63.8	102	36.2	5	0		5	100.0
※植 生	201	134	66.7	67	33.3	101	47	46.5	54	53.5
合 計	524	323	61.6	201	38.4	142	62	43.7	80	56.3

※フィリピンは全て自然植生である。

表-5.25 のり面保護工からみた安定性（岩盤法面）

のり面 保護工	日 本					フィリピン				
	個数	安 定		崩 壊		個数	安 定		崩 壊	
		個数	比率%	個数	比率%		個数	比率%	個数	比率%
無処理	76	15	19.7	61	80.3	147	92	61.9	56	38.1
構造物	282	164	58.2	118	41.8	16	8	50.0	8	50.0
植 生	42	21	50.0	21	50.0	235	121	51.3	114	48.5
合 計	400	200	50.0	200	50.0	398	220	55.3	178	44.7

では無処理の法面は常に降雨による洗礼を受けているので自然植生と同程度の安定性を示している。

集計結果から見ると、無処理からなる岩盤法面では安定性が非常に低く、保護工の早期着工が必要である。構造物についてはフィリピン側の施工例は少ないが安定性が低く、保護工としての効果を發揮していない。一方植生については日本では構造物より安定性は低い。フィリピンの自然植生は裸地より安定性が低く、保護工としての効果は少なく岩盤法面に対しては不適であることを示すものであろう。

(4) 地質

岩質による集計結果は表-5.26によればフィリピンでは砂岩、頁岩、輝緑岩、安山岩で安定性が低い。また箇所数としては少ないがマサ土では浸食により崩壊する傾向が強い。安山岩、粗面岩で崩壊率が大きいのは亀裂面からの落石災害と考えられる。

日本では岩質的災害には砂岩、花崗岩、安山岩、片岩などで安定性が低い。

表-5.27からも明らかなように、法面の地質が未固結な土層から構成されている場合法面の安定性は岩盤法面に比較して非常に安定性が悪く、崩壊を多発している。

(5) 岩盤の硬軟

岩盤法面を構成する岩盤状況を硬岩、軟岩に区分し、日本、フィリピンでの比較を行った。

表-5.26 岩質からみた法面の安定性

	日 本					フィリピン				
	個数	安 定		崩 壊		個数	安 定		崩 壊	
		個数	比率%	個数	比率%		個数	比率%	個数	比率%
花崗岩	60	27	45.0	33	55.0	7	6	85.7	1	14.3
閃緑岩						70	40	57.1	30	42.9
輝緑岩						51	25	49.0	26	51.0
安山岩	50	24	48.0	26	52.0	44	22	50.0	22	50.0
片 岩	8	4	50.0	4	50.0	2	2	100.0	0	—
粗面岩	2	0	0	2	100.0	6	3	50.0	3	50.0
粘板岩						4	2	50.0	2	50.0
石灰岩						20	16	80.0	4	20.0
輝緑凝灰岩						4	2	50.0	2	50.0
凝灰岩	65	37	56.9	28	43.1	34	20	58.8	14	41.2
砂 岩	66	27	40.9	29	59.1	112	57	50.9	55	49.1
頁 岩	102	57	55.9	45	44.1	32	15	46.9	17	53.1
泥 岩						22	15	68.2	7	31.8
礫 岩						58	33	56.9	25	43.1
マサ土						1	0		1	100.0
石 英 斑 岩	37	18	48.6	19	51.4					
蛇紋岩	9	7	77.8	2	22.2					
チャート	2	0	—	2	100.0					
合 計	401	201	50.0	200	50.0	467	258	55.2	209	44.8

表-5.27 礫まじり土砂からなる法面の安定性

	日 本					フィリピン				
	個数	安 定		崩 壊		個数	安 定		崩 壊	
		個数	比率%	個数	比率%		個数	比率%	個数	比率%
砂 礫 土						73	31	42.5	42	57.5
砂 質 土						19	9	47.4	10	52.6
粘 性 土						50	22	44.0	28	56.0
合 計						142	66	46.5	76	53.5

表-5.28 硬岩、軟岩法面の安定性

	日 本					フィリピン				
	個数	安 定		崩 壊		個数	安 定		崩 壊	
		個数	比率%	個数	比率%		個数	比率%	個数	比率%
硬 岩	135	70	51.9	65	48.1	116	84	72.4	32	27.6
軟 岩	257	120	46.7	137	53.3	282	136	48.2	146	51.8
合 計	392	190	48.5	202	51.5	398	220	55.3	178	44.7

集計結果から見ると日本では硬岩の方が軟岩よりも安定性が良く、フィリピンも同様な傾向である。

(表-5.27)

(6) フィリピンにおける高さ、勾配、地質別の切土法面安定性

フィリピンにおける切土法面の安定性を検討するために高さ、勾配および地質の3要因を組合せて、集計作業を行った。集計結果から

- ・硬岩からなる岩盤法面では、高さ、勾配が大となるほど法面の安定性が低下し、崩壊する比率が大きくなる。
- ・軟岩からなる切土法面も硬岩と同様な傾向を示し、かつ硬岩の安定性より軟岩の安定性は低い。
- ・未固結層よりなる土砂層では、法面数が硬岩、軟岩に比較して少ないため明らかでないが、法面の安定性は岩盤法面よりも更に低下し、崩壊を多発することが考えられる。特に硬岩、軟岩を覆って土砂層が発達する場合この境界は流れ盤構造となり、かつ土砂、岩盤の境界は浸透水の通路となるため集中豪雨により、間隙水圧が上昇し、境界付近をすべり面とした崩壊、地すべりを誘発することが多い。

5.4 日本の指針のフィリピンへの適用性の検討

我国では急峻な地形に多くの山岳道路が建設されているが、これらは梅雨前線や台風による豪雨、地震、冬期の積雪などの厳しい自然条件下にあるため、各種の法面災害によって道路交通に障害が与えられることが少なくない。そのために各機関により種々の防災に対する提案がなされ、道路法面の設計、施工、管理などに関する各種の指針、基準が整備されてきた。しかしながら、道路法面が置かれている自然条件は多種多様であるため、これらの指針、基準がすべての法面に対して常に効果的であるとは限らず、より一層の充実が望まれている。

一方、フィリピンも国土の大部分が地形的に急峻な山岳地帯で、地質的にも概して法面安定上問題の多い第三紀層からなり、しかもフィリピン断層に代表される多くの構造線により破碎されている。さらにフィリピンは南太平洋台風ベルトの中に位置しているため、年平均9回、あるいはそれ以上にわたり台風がもたらす豪雨に見舞われている。この様な厳しい自然条件の下に置かれているにもかかわらず、道路法面防災への対策は充分でないため、毎年多くの災害が発生している。

フィリピンでは道路法面防災に関する体系的な指針、基準は整備されていないため、道路建設時やその後の防災対策において、地質・土質の種類とその状況に対応した法面の高さやのり勾配などへの配慮がなされていない。従って、実態調査結果からも明らかなように、フィリピンの道路法面は地質状況に対して急勾配を持つ法面の度数分布が多く、それらの法面での災害発生率も高い。

本節では、実態調査を行ったフィリピンの法面を各地質条件下における高さや勾配などの面で日本の指針に適合しているものとしていないものとに分け、それぞれの群の災害発生率を比較することにより、日本の指針のフィリピンにおける適合性をみる。それと同時に、日本の指針に適合しているにもかかわらず、崩壊した法面群に対してはその原因を考察する。

また、日本において提案されている切土法面の危険度判定法をフィリピンにおいて調査した法面に適用した場合の適用性についても検討を行う。

5.4.1 検討に用いた日本の指針

法面の性状に関する日本の指針として（社）日本道路協会の「道路土工のり面工・斜面安定工指針」に示された切土および盛土の標準のり勾配を用い、フィリピンの道路法面への適合性を評価した。

また、危険度判定法としては建設省が防災点検で使用している「危険度判定表」および同じく建設省で試作された「のり面採点表」に対する適用性の検討を行った。

5.4.2 「道路土工のり面工・斜面安定工指針」の適用性の検討

検討は切土法面、盛土法面に分けて行い、それぞれ地質条件および法面の高さに応じて定められている標準勾配に対して適合性を評価した。なお、指針に示されたカテゴリー分類と調査票の分類とは必ずしも一致していないため、法面の高さ、勾配については調査票に記された平均高さ、平均勾配を用いて集計した。また、切土に対しては調査票の礫まじり土を指針の「砂利または岩塊まじり砂質土」とみなし、指針に示された砂質土の「密実なもの」には調査票における締まり程度が「硬い」または「やや緩い」ものをその範ちゅうに入れて評価した。盛土に対しては調査票の礫まじり土を指針の「粒度の良い砂、礫および細粒分混じり礫」と、砂質土および粘性土を「砂質土、硬い粘質土、硬い粘土」と見なした。

1) 切土法面の検討結果

指針による切土に対する標準のり勾配を表-5.29に示す。

実態調査を行った切土法面を、指針に示された地山の土質および切土高に対する勾配別に集計したものを表-5.30に示す。この集計結果に基づいて指針の切土に対する標準のり勾配のフィリピンの法面に対する適用性を地山の土質ごとに検討した。

a) 硬岩

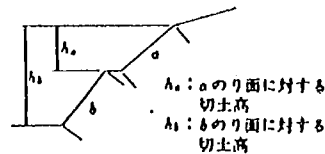
硬岩で構成された116ヶ所の切土法面のうち82%に当たる95法面は指針に示された標準のり勾配となっている。

しかしながら、災害の発生率という点からみると標準のり勾配の法面が必ずしも安定しているわけでは

表-5.29 切土に対する標準のり勾配

地 山 の 土 質		切土高	勾 配
硬 岩			1 : 0.3 ~ 1 : 0.8
軟 岩			1 : 0.5 ~ 1 : 1.2
砂	密実でない粒度分布の悪いもの		1 : 1.5 ~
砂 質 土	密実なもの	5 m以下	1 : 0.8 ~ 1 : 1.0
		5 ~ 10m	1 : 1.0 ~ 1 : 1.2
	密実でないもの	5 m以下	1 : 1.0 ~ 1 : 1.2
		5 ~ 10m	1 : 1.2 ~ 1 : 1.5
砂利または岩塊まじり砂質土	密実なもの、または粒度分布のよいもの	10m以下	1 : 0.8 ~ 1 : 1.0
		10 ~ 15m	1 : 1.0 ~ 1 : 1.2
	密実でないもの、または粒度分布の悪いもの	10m以下	1 : 1.0 ~ 1 : 1.2
		10 ~ 15m	1 : 1.2 ~ 1 : 1.5
粘性土		10m以下	1 : 0.8 ~ 1 : 1.2
岩塊または玉石まじりの粘性土		5 m以下	1 : 1.0 ~ 1 : 1.2
		5 ~ 10m	1 : 1.2 ~ 1 : 1.5

注) ① 土質構成などにより単一勾配としないときの切土高および勾配の考え方は下図のようになる。



- ・勾配は小段を含めない。
- ・勾配に対する切土高は当該切土のり面から上部の全切土高とする。

- ② シルトは粘性土に入れる。
- ③ 上表以外の土質は別途考慮する。
- ④ のり面の植生工を計画する場合には表3-10も考慮する。

(社) 日本道路協会編『道路土工のり面工・斜面安定工指針』より抜粋。

く、標準値より急な勾配を持つ法面のほうがむしろ発生率は低くなっている。

調査対象区間で1 : 0.3以上の急な勾配を持つ法面の硬岩は図-5.15に示したように安山岩、閃緑岩、輝緑岩、礫岩、砂岩および凝灰角礫岩である。崩壊した法面の岩は閃緑岩および礫岩であるが、崩壊した閃緑岩の法面は無方向の亀裂が発達しており、礫岩の法面は詳細調査で述べたように風化が進行している。

本調査では崩壊が記録されなかった他の種類の硬岩は、風化の進行が遅いため今後崩壊する場合は節理・亀裂の発達、開口および亀裂ぞいの風化変質により発生すると考えられる。

以上より調査対象区間でみられるような岩種で構成された硬岩法面の場合、1 : 0.3以上で切土してかつ長期間放置しても亀裂の発達が認められなければ崩壊は発生しないと考えられる。これは硬岩の法面に対する日本の指針は施工の安全性などを考慮して決められた基準であるためと思われる。

表-5.30 調査法面の切土に対するのり勾配と被災率

地山の土質		切土高	勾配	法面数		
				調査法面	崩壊法面	被災率
硬岩			～ 1:0.8	25	6	24 %
			1:0.3 ～ 1:0.8	70	22	31 %
			1:0.3 ～	21	4	19 %
			合計	116	32	28 %
軟岩			～ 1:1.2	1	0	0 %
			1:0.5 ～ 1:1.2	202	103	51 %
			1:0.5 ～	79	43	54 %
			合計	282	146	52 %
隙まじり土	密実、又は やや緩い	10m 以下	1:0.8 ～ 1:1.0	1	0	0 %
			1:0.8 ～	4	3	75 %
		10～15m	1:1.0 ～ 1:1.2	4	3	75 %
			1:1.0 ～	2	2	100 %
	密実でない	15m～	～ 1:1.2	7	3	43 %
			1:1.2 ～	16	9	56 %
		10m 以下	～ 1:1.2	3	2	67 %
			1:1.0 ～ 1:1.2	2	2	100 %
			1:1.0 ～	10	7	70 %
		10～15m	1:1.2 ～ 1:1.5	1	0	0 %
			1:1.2 ～	7	2	29 %
		15m～	～ 1:1.5	8	6	75 %
			1:1.5 ～	9	4	44 %
	合計			74	43	58 %
砂質土	密実、又は やや緩い	5m 以下	1:0.8 ～ 1:1.0	—	—	—
		5～10m	1:1.0 ～ 1:1.2	—	—	—
			1:1.0 ～	3	1	33 %
		10m～	～ 1:1.2	1	0	0 %
	密実でない		1:1.2 ～	2	1	50 %
		5m 以下	1:1.0 ～ 1:1.2	—	—	—
			～ 1:1.5	1	0	0 %
		5～10m	1:1.2 ～ 1:1.5	—	—	—
			1:1.2 ～	6	4	67 %
		10m～	～ 1:1.5	4	3	75 %
			1:1.5 ～	2	1	50 %
	合計			19	10	53 %
粘性土	10m 以下	～ 1:1.2	2	0	0 %	
		1:0.8 ～ 1:1.2	10	5	50 %	
		1:0.8 ～	14	12	86 %	
		～ 1:1.2	5	2	40 %	
		1:1.2 ～	22	11	50 %	
	合計			53	30	57 %

注) 図示のかかった勾配は『道路土工のり面工・斜面安定工指針』に示された標準のり面勾配を意味する。

b) 軟岩

調査された282ヶ所の軟岩で構成された切土法面のうち72%に当たる203法面は指針に示された標準のり勾配となっている。災害発生率は標準のり勾配より急勾配の法面の方が若干高いが、標準のり勾配で施工されている法面でも約半数が崩壊している。しかしながら標準のり勾配にもかかわらず崩壊した法面の約30%に当たる60斜面の勾配は標準の上限値の60°前後であるため、これらを除いた場合の標準勾配法面の被災率は約40%となる。

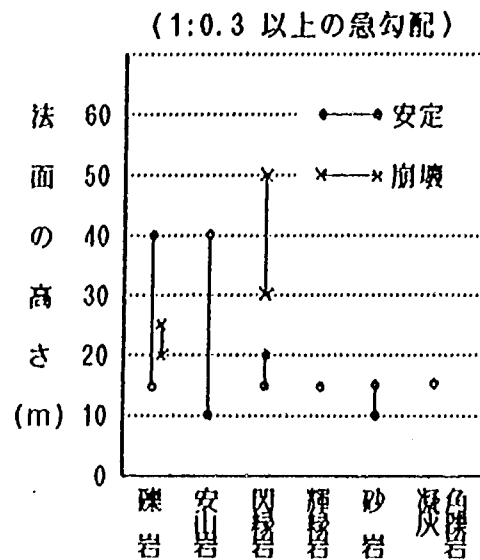


図-5.15 岩石とのり高

高さが10m～30mの軟岩法面では、勾配が1:1～1:0.5の法面の被災率が17%であるのに対して1:1以下の緩い勾配での発生率が50%と高くなっている。これは軟岩には第三紀の堆積岩（堅硬なものは除く）と火成岩でも変質しているものまで含まれているため、高温下で豪雨と直射日光による乾湿の繰返しを受けた場合それらの岩石の風化が著しく速いために起こったものと考えられる。これは特殊条件下の岩石の変質を示した一例といえよう。

c) 礫まじり土

礫まじり土の切土法面は74ヶ所あるが、これらのうち標準のり勾配のものはわずか11法面にすぎない。

そして、これら11法面での災害発生率は74ヶ所の平均値（58%）よりも高く、調査対象区間の礫まじり土の切土法面では勾配に関係なく災害が発生している。

礫まじり土の法面は大部分が崖錐を切土したものであり、10m以下の法面の被災率は70%、10m以上では55%となっている。崖錐を形成する過程即ち山腹に岩屑が堆積する過程に2種類あり、一つは堆積が上部から次第に下部に及ぶものであり、もう一つは最初に下部に堆積し始めて漸次上部に至るものである。これらの間には崖錐の固結状態に差異があるものと考えられるため、一律に規定されている基準に必ずしも合致するとは限らない。前節での比較に用いた日本の実態調査結果をこの基準に適用した場合も被災率は30～40%となっている。

d) 砂質土

砂質土の切土法面はサンプル数が少ないため、十分な検討は不可能であるが得られたデータから考察すると、対象区間では全体的に勾配の急な法面が多く、調査された19法面のうち標準のり勾配で施工されているものは1ヶ所しかない。この法面は被災しておらず、高さの高いもの、のり勾配の急なものほど災害発生率は高くなっている。

e)粘性土:

粘性土で構成された切土法面のうち、標準のり勾配のものは12法面であり、標準より急な勾配を持つものは41法面である。前者の災害発生率は42%であり後者のそれ(61%)と比較して低くなっている。このことは、粘性土の切土では高さに応じて勾配を緩くすれば防災効果があることを意味しているが、それでも標準以下の緩勾配で4割以上が被災しており、そのほかの要因を考慮する必要があると考えられる。

2)盛土法面の検討結果

調査したフィリピンの盛土法面を、表-5.31に示した日本の指針に沿った高さと勾配別に集計したものを表-5.32に示す。これより調査対象区間の盛土法面における高さ・勾配と災害発生との関係をまとめると次のようになる。

盛土材料として礫まじり土を用いた66法面のうち標準のり勾配を持つものはわずか11法面である。被災率は標準のり勾配以下のものと以上のものとは全く変わらずともに46%であった。このことは、礫まじり土の盛土ではのり勾配に無関係に災害が発生していることを示している。一方、高さでみると指針では規定されていない15mより高い法面での発生率が高くなっている(26%)。

また、盛土材料として砂質土、粘性土を用いた法面も全体的にのり勾配が急であり、調査された60法面のうち標準のり勾配を持つものはわずか9ヶ所である。しかし、この9法面は全て被災しており、ここでも災害発生と勾配との関係は明らかになっていない。また、指針には規定のない10mより高い法面での発生率(63%)がそれ以下のものと比べて必ずしも高くないことから、高さとの関係も明らかになっていない。

以上より盛土の場合は、指針に適合した法面の災害発生率が適合していないものと比べて低くなっておらず、現状では日本の指針を適用しても防災上の改善がみられるとは思われない。これは前節までの分析で明らかなように、フィリピンでの盛土崩壊は路面排水などの排水施設が全く無く、降雨による地表水が集中しているところで多発しており、のり勾配などを規定する以前の問題として水処理を充分に行うことの重要性を改めて示している。

従って、フィリピンの盛土法面に対する日本の指針の適用性は、排水など防災上最低限の前提条件を満たした上での議論となり、現況では適応できない。

5.4.3 危険度判定法の適用性検討

道路法面の崩壊や落石などを未然に防止するには、現状の法面の危険度を判定し必要に応じて保護工を設置するなどの対策が必要である。危険箇所の抽出には対象とする道路・区間全体について簡易に見落としなく行う方法として、日本では徒歩点検程度の調査で行う危険度判定法が利用されている。

ここでは日本の危険度判定手法をフィリピンの法面に適用し、その適用性について評価する。判定法としては建設省、日本道路公団などの方法があるが、ここでは前述のように建設省の防災点検に用いられている切土法面に対する「危険度判定表」と「のり面採点表」の適用性を検討した。

表-5.31 盛土材料および盛土高に対する標準のり勾配

盛 土 材 料	盛土高(m)	勾 配	備 考
粒度の良い砂 (SW), 礫および 細粒分混じり礫 (GM) (GC) (GW) (GP)	5 m以下	1:1.5~1:1.8	基礎地盤の支持力が十分にあり、浸水の影響のない盛土に適用する。 () の統一分類は代表的なものを参考に示す。
	5~15m	1:1.8~1:2.0	
粒度の悪い砂 (SP)	10m以下	1:1.8~1:2.0	
岩塊 (ずりを含む)	10m以下	1:1.5~1:1.8	
	10~20m	1:1.8~1:2.0	
砂質土 (SM) (SC), 硬い粘質土, 硬い粘土 (洪積層の硬い粘質土, 粘土, 関東ロームなど)	5 m以下	1:1.5~1:1.8	
	5~10m	1:1.8~1:2.0	
火山灰質粘性土 (VH ₂)	5 m以下	1:1.8~1:2.0	

(社) 日本道路協会編『道路土工のり面工・斜面安定工指針』より抜粋。

表-5.32 盛土に対するのり勾配と被災率

盛土材料	盛 土 高	勾 配	法 面 数		
			調査法面	崩壊法面	被災率
礫まじり土	5m 以下	~ 1:1.8	5	2	40 %
		1:1.5 ~ 1:1.8	1	0	0 %
		1:1.5 ~	8	3	38 %
	5~15m	~ 1:2.0	5	3	60 %
		1:1.8 ~ 1:2.0	—	—	—
	15m~	~ 1:2.0	31	13	42 %
砂 質 土 粘 性 土	5m 以下	~ 1:2.0	1	1	100 %
		1:2.0 ~	15	8	53 %
		合 計	66	30	46 %
	5~10m	~ 1:1.8	3	3	100 %
		1:1.5 ~ 1:1.8	—	—	—
		1:1.5 ~	14	5	36 %
	10m~	~ 1:2.0	6	6	100 %
		1:1.8 ~ 1:2.0	—	—	—
	10m~	~ 1:2.0	13	7	54 %
		1:2.0 ~	5	5	100 %
	合 計		19	10	53 %
合 計			60	36	60 %

注) 斜線のかかった勾配は『道路土工のり面工・斜面安定工指針』に示された標準のり面勾配を意味する。

1)「危険度判定表」の適用性の検討

切土法面の崩壊および落石を対象とした「危険度判定表」を図-5.16に示す。この方法では地形、地質・土質、誘因などによる1次判定と既設対策工の効果の程度による2次判定を行い、これに危険頻度および道路事情などを考慮して、防災対策の緊急度の総合判定を行っている。この判定表をフィリピンにおける調査法面に適用するにあたっては、判定項目の基準と調査項目のカテゴリーが一致していないものもあるため、各段階の判定にあたっては次の仮定を行った。

1.危険度一次判定

地形－危険度A：30m以上のり高または60°以上の勾配を持つ法面

B：それ以外の地形

地質－危険度A：風化が著しい岩またはルーズな土

B：それ以外の地質・土質

誘因－危険度A：地表水または地下水が観察される

B：地表水、地下水はともにみられない。

1.危険度一次判定			2.危険度二次判定			
誘因をA～C、危険度小～大とする。			一次判定結果			
項目	基準	危険度	既設対策工の効果の程度	①	②	③
地形	斜面が傾斜が急な場合、勾配が急な場合、あるいはローバーンズしてたりする場合	A	高い、強い	A	A	B
	凸凹（凸部の曲率は50m未満）の場合		普通	A	B	C
	斜面が傾斜が急な場合、勾配が急な場合、あるいはローバーンズしてたりする場合		低い、弱い	B	C	C
地質・土質	斜面が傾斜が急な場合、勾配が急な場合、あるいはローバーンズしてたりする場合	A	高い、強い	A	A	B
	凸凹（凸部の曲率は50m未満）の場合		普通	A	B	C
	斜面が傾斜が急な場合、勾配が急な場合、あるいはローバーンズしてたりする場合		低い、弱い	B	C	C
誘因	斜面が傾斜が急な場合、勾配が急な場合、あるいはローバーンズしてたりする場合	A	高い、強い	A	A	B
	凸凹（凸部の曲率は50m未満）の場合		普通	A	B	C
	斜面が傾斜が急な場合、勾配が急な場合、あるいはローバーンズしてたりする場合		低い、弱い	B	C	C
その他	斜面が傾斜が急な場合、勾配が急な場合、あるいはローバーンズしてたりする場合	B	高い、強い	A	A	B
	凸凹（凸部の曲率は50m未満）の場合		普通	A	B	C
	斜面が傾斜が急な場合、勾配が急な場合、あるいはローバーンズしてたりする場合		低い、弱い	B	C	C
その他	斜面が傾斜が急な場合、勾配が急な場合、あるいはローバーンズしてたりする場合	C	高い、強い	A	A	B
	凸凹（凸部の曲率は50m未満）の場合		普通	A	B	C
	斜面が傾斜が急な場合、勾配が急な場合、あるいはローバーンズしてたりする場合		低い、弱い	B	C	C

3.緊急度総合判定			
項目	危険度一次判定結果	危険頻度	緊急度総合判定
a (3点)	A	年に1回以上交通に支障がある。	緊急度総合判定については、危険度、危険頻度、交通量等を考慮してランク1、2、3の緊急度を決定する。 ランク1、2、3の決定方法 a=3点、b=2点、c=1点として各項目の和を求め、下記の区分に従いランク付けを行う。なお、危険度（二次判定結果）を()書きにする。 和が9～7点：ランク1 6～5点：ランク2 4～3点：ランク3 (四) 危険度 頻度 交通量 3点 2点 3点 3点 2点 3点 (A) としてランク1(A)とする。
b (2点)	B	数年に1回程度交通に支障がある。	緊急度総合判定については、危険度、危険頻度、交通量等を考慮してランク1、2、3の緊急度を決定する。 ランク1、2、3の決定方法 a=3点、b=2点、c=1点として各項目の和を求め、下記の区分に従いランク付けを行う。なお、危険度（二次判定結果）を()書きにする。 和が9～7点：ランク1 6～5点：ランク2 4～3点：ランク3 (四) 危険度 頻度 交通量 3点 2点 3点 3点 2点 3点 (A) としてランク1(A)とする。
c (1点)	C	その他	緊急度総合判定については、危険度、危険頻度、交通量等を考慮してランク1、2、3の緊急度を決定する。 ランク1、2、3の決定方法 a=3点、b=2点、c=1点として各項目の和を求め、下記の区分に従いランク付けを行う。なお、危険度（二次判定結果）を()書きにする。 和が9～7点：ランク1 6～5点：ランク2 4～3点：ランク3 (四) 危険度 頻度 交通量 3点 2点 3点 3点 2点 3点 (A) としてランク1(A)とする。

4.総合判定	
4(A) + 3(B) + 2(C)	①
4(B) + 3(A) + 2(C)	②
4(C) + 3(B) + 2(A)	③

図-5.16 危険度判定表（落石、崩壊）

2. 危険度二次判定

前章までで明らかなように大部分の法面には既設対策工はなく、ある場合にもその効果は非常に低い。従って、効果の程度は全ての法面に対して「無い、低い」とする。

3. 緊急度総合判定

危険頻度—本来危険頻度は対象とした法面個々について評価すべきであるが、ここでは便宜的に各区間の平均危険頻度を仮定し、その区間の法面すべてにそれを適用した。各区間の平均危険頻度を次のように仮定した。

M-4 : c. その他

M-5 : c. その他

M-6 : b. 数年に1回程度交通に支障がある。

M-10 : c. その他

M-11 : c. その他

B-1 : b. 数年に1回程度交通に支障がある。

B-2 : b. 数年に1回程度交通に支障がある。

B-3 : b. 数年に1回程度交通に支障がある。

区間重要度—個々の法面位置での交通量は不明であるため、区間の代表的な交通量とその区間が持っている機能とを考慮して次のように仮定した。

M-4 (平均日交通量 2,114台、1983年) : a.

M-5 (平均日交通量 2,114台、1983年) : a.

M-6 (平均日交通量 2,365台、1986年) : a.

M-10 (平均日交通量 1,847台、1986年) : b.

M-11 (平均日交通量 1,810台、1980年) : b.

B-1 (平均日交通量 1,815台、1983年) : a.

B-2 (平均日交通量 258台、1983年) : c.

B-3 (平均日交通量 1,239台、1984年) : b.

なお、各区間の年平均日交通量は近年同区間で実施されたプロジェクトでの交通量調査結果およびフィリピン公共事業・道路省の定点観測データをもとにした。

a) 判定結果

危険度一次判定の結果を表-5.33に示す。

すべての対象法面に効果的な対策工が設置されていないため、一次判定で危険度AおよびBと判定された法面は二次判定で危険度Aとなり、一次判定で危険度Cと判定された法面は二次判定で危険度Bとなる。その結果、危険度二次判定で危険度Aと評価された法面は全部で496斜面であり、そのうち災害が発生したものは23.6%にあたる117斜面であった。一方、危険度Bと評価された法面は46斜面であり、そのうちの被災斜面は5斜面であった。この場合の災害発生率は10.9%であり危険度Aの法面に比べて非常に低率と

表-5.33 危険度一次判定結果（法面数）

区 間	危険度A	危険度B	危険度C	合 計
H - 4	3 (0)	14 (1)	2 (0)	19 (1)
H - 5	0 (0)	7 (0)	0 (0)	7 (0)
H - 6	47 (8)	99 (18)	8 (1)	154 (27)
H - 10	0 (0)	19 (1)	10 (0)	29 (1)
H - 11	0 (0)	24 (0)	4 (0)	28 (0)
B - 1	10 (3)	79 (22)	7 (2)	96 (27)
B - 2	31 (12)	99 (34)	10 (2)	140 (48)
B - 3	6 (2)	58 (16)	5 (0)	69 (18)
合 計	97 (25)	399 (92)	46 (5)	542 (122)
被災率	26 %	23 %	11 %	23 %

注) 数字はそれぞれの危険度を持った法面の数を意味し、
()内はそのうち被災した法面の数を意味する。

なっている。

上記の二次判定の結果に危険頻度および区間重要度を考慮して決められる緊急度総合判定の結果は次のようになった。

ランクⅠ (A) : 323法面 (内、被災法面70、被災率22%)

ランクⅠ (B) : 15法面 (内、被災法面 3、被災率20%)

ランクⅡ (A) : 173法面 (内、被災法面47、被災率27%)

ランクⅡ (B) : 31法面 (内、被災法面 2、被災率 7%)

ランクⅠはⅡに比べ緊急度が高いことを意味し、(A)は(B)に比べ危険度が高いことを意味する。つまり、緊急度が高く危険度も高いものがランクⅠ(A)であり、危険度はそれほど高くはないが緊急度が高いものがランクⅠ(B)である。

b)危険度判定表の適用性について

判定結果に示した各ランクの被災率から、危険度判定表を用いて緊急度総合判定をした場合の適用性について次のことが考察される。

・緊急度だけに着目した場合はランクⅠよりもむしろランクⅡの法面の方が災害の発生率が高く、適用性には疑問がある。

・危険度を加えた判定ではランクⅡ、危険度Bの法面での災害発生率が極めて低くなっている。

しかしながら、Ⅰ(A)、Ⅰ(B)、Ⅱ(A)、Ⅱ(B)の4つのランクをカテゴリーとし、災害の発生と非発生とを基準にしたカイ自乗検定を行っても10%以下の危険率では有意差は認められなかった。

・危険頻度、区間重要性を考慮していない第二次判定結果に対して、同様の検定を行うと10%以下の危険率で有意差が認められる。

フィリピンの法面の調査フォーマットが検討に用いた判定表のフォーマットと同一でないため適用にあたっては仮定を設けて行った。このため仮定の仕方によっては結果に多少の違いが生じるものと思われるが、法面の地形や地質、誘因および既設対策工の効果から判定する「危険度判定表」の第二次判定はフィリピンの法面に対しても一応の適用性があるといえる。

2) 「のり面採点表試案」の適用性の検討

「のり面採点表試案」は全国の国道における1,673箇所の崩壊、非崩壊の切土法面のデータをもとに各種要因の分散分析、数量化解析を行い、法面の安定への寄与度を求め、表-5.34のような採点表を作成したものである。安定・不安定の境界値は14点となっており、法面危険度の相対評価に利用されている。

ここではこの採点表をフィリピンにおいて調査された切土法面に適用し、安定していた法面と落石・崩壊した法面との得点分布を比較することにより、適用性を検討した。

適用にあたり採点表の要因の中で本調査の調査項目とカテゴリー分類の違うものについては次のように仮定した。

「湧水状況」：地表水、地下水が観察される場合は2点、観察されない場合は0点とした。

「自然斜面の状況」：採点表に示された分類以外のS型、逆S型は2点とした。

「岩分類」：風化を受けていない岩を0点、やや風化を受けている岩を2点、風化の激しい岩を3点とした。

「割目の状況」：亀裂がないあるいは少ない岩を0点、やや多い岩を1点、多い岩を2点とした。

「植生環境」：草または灌木の繁茂している法面は1点、裸地の場合は2点とした。

「保護工種」：「危険度判定表」の第二次判定の場合と同様、すべての法面を「無処理」として扱い0点とした。

採点表を適用して各法面の得点を求めた結果、図-5.17に示したように安定法面と崩壊・落石法面は、ほぼ同じ得点に分布した。なお、それぞれの平均値および標準偏差を表-5.35に示す。また、安定・不安定の境界値が14点と規定されているが、これによる誤判別の確率は次のようになる。

・崩壊法面であるにもかかわらず、安定法面と判定する

誤判別の確率：21%

・安定法面であるにもかかわらず、崩壊法面と判定する

誤判別の確率：77%

また、この採点表による安定・不安定（崩壊）の適中率は図-5.18に示したように58.6%と低くなっている。このことはフィリピンの法面がもつ崩壊へ寄与する因子間の重みが日本のそれとは異なっていることを意味している。「危険度判定表」のように定性的な評価に基づく判定はフィリピンの法面に適用してもある程度の適用性があるが、「のり面採点表試案」のように定量的な評価を行う基準は適用が困難であると考えられる。

表-5.34 のり面採点表試案

法 高	10m以下		15m以下		20m以下		30m以下		30m以上			
	1		2		3		4		5			
法 勾 配	1：0.3以下		1：0.5以下		1：0.8以下		1：1以下		1：1.2以下		1：1.2以上	
	5		3		1		1		1		5	
湧水状況	乾 燥			湿 潤			表 面 水			湧 水		
	0			1			2			2		
自然斜面 の 状 況	凸 斜 面				凹 斜 面				平 行 斜 面			
	1				2				0			
土質分類	礫・礫質土			砂・砂質土			粘 質 土			粘 土		
	8			4			2			0		
岩 種	変成岩、蛇紋岩、 凝灰岩、新第三紀層				深成岩、古第三紀層 中・古生層				火 山 岩			
	10				5				0			
岩 分 類	軟 岩 I			軟 岩 II			中 硬 岩			硬岩 I・II		
	3			2			1			0		
割 目 の 状 況	多 い			やや多い			やや少ない			少 な い		
	2			2			1			0		
植生環境	良				普 通				悪			
	0				1				2			
保護工種	擁壁工	枠 工	石 張 工 コンクリ ート張工	モルタル 吹 付 工	植生工	落石防 止柵工 網 工	無処理					
	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0					
判 断	現地の実情・過去の実績により、±3点を限度として設定できる											

表-5.35 得点の平均及び標準偏差

	サンプル数	得点の平均	標準偏差
安 定 法 面	414	17.6	4.646
崩壊・落石法面	122	18.3	4.838
合 計	536	17.7	4.695

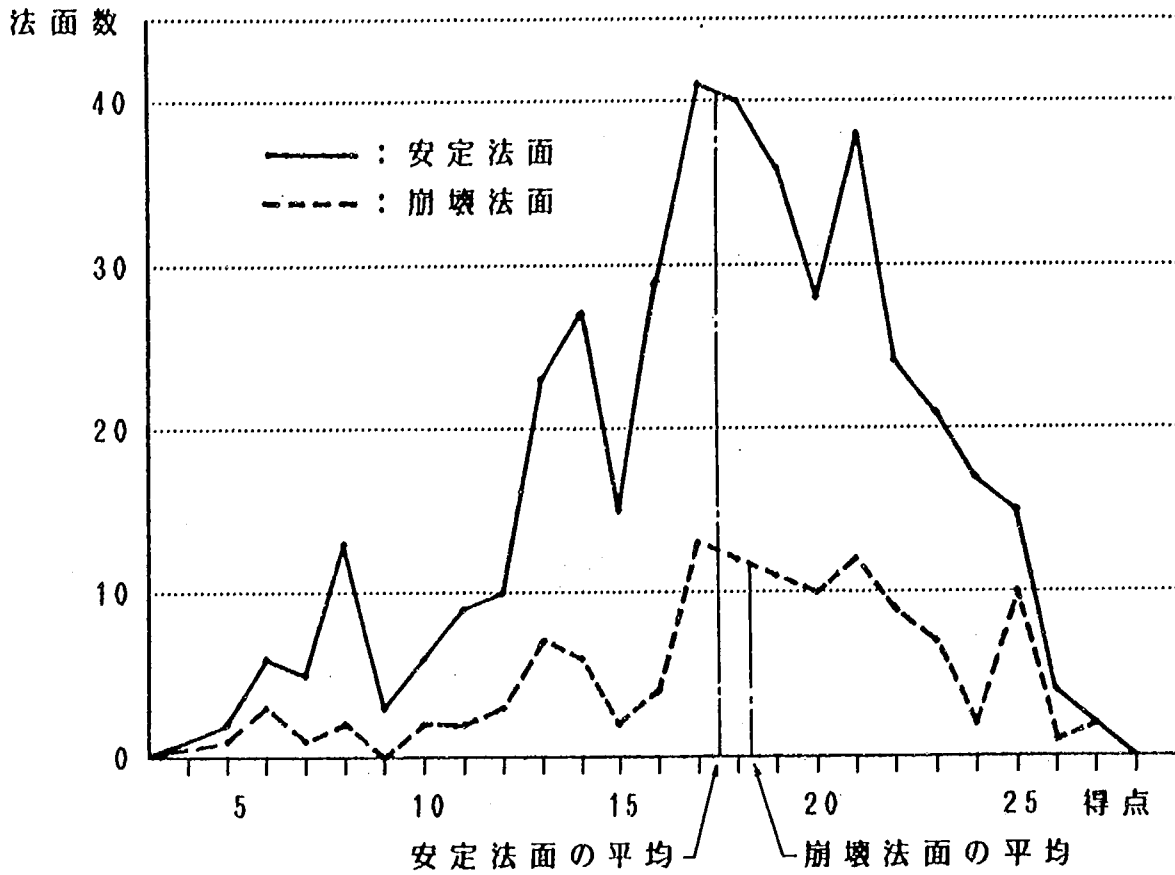


図-5.17 安定法面及び崩壊・落石法面の得点分布

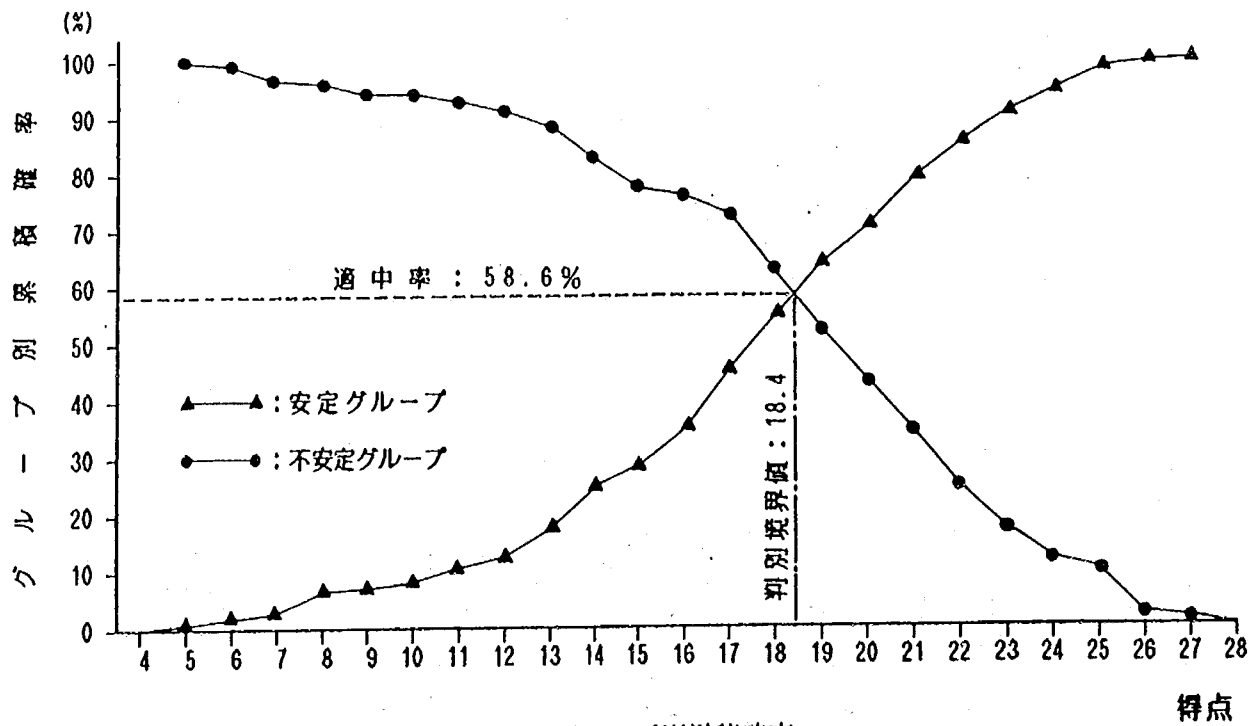


図-5.18 グループ別累積確率

第6章 調査結果に基づく提案

6.1 フィリピンの道路法面防災への提案

過去3年間にわたる現地調査および調査結果の分析からフィリピンの道路法面防災に対する提案を行うこととした。すでに明らかなように、調査対象区域においては道路法面防災を目的にした法面保護工は皆無であり、加えて台風に伴う集中豪雨がしばしば発生し、容易に道路法面災害を誘発する条件下にさらされているのがフィリピンの道路の現状である。

道路法面防災の方法はハード的なものと、交通規制などのソフト的なものに大別することができるが、ここでは今回の調査結果をもとに、ハード面から見た法面保護工に対する提案を試みることにした。

6.1.1 法面防災の着眼点および法面保護工に関する提案

ここでは、法面防災の着眼点をふまえて、危険法面の選定、基本的な法面保護工の選定方法および現況道路における法面保護工の提案についてまとめることとした。

1) 法面防災の着眼点

法面防災の実態調査結果から崩壊の誘因としては、台風に伴う集中豪雨が考慮され、一方、崩壊の素因としては現地調査や数量化による要因分析の結果から以下に示した要因が災害に寄与していることが明らかとなった。

- ・切土法面の崩壊に寄与する要因として、断面形状が逆S型の形状を示す法面、風化土層や未固結土層が厚く、基盤岩との間に明瞭な境界が見られる法面、平面形状が直線型の法面、切土高が50m以上の長大法面、浸食の著しい法面などでは崩壊に対する危険性が高い。
- ・落石災害の要因として、湧水の見られる法面、浸食が著しい法面、切土高さが30m以上の法面、断面形状が凹型で集水地形を呈する法面では落石の危険性が多い。
- ・盛土法面の崩壊要因として、土砂上に直接構築されている法面や地下水、浸透水のしみ出している法面では崩壊の危険性が高い。また平面線形が谷型を呈し、降雨による地表水や路面水の集中する付近では盛土法面の崩壊が多発している。

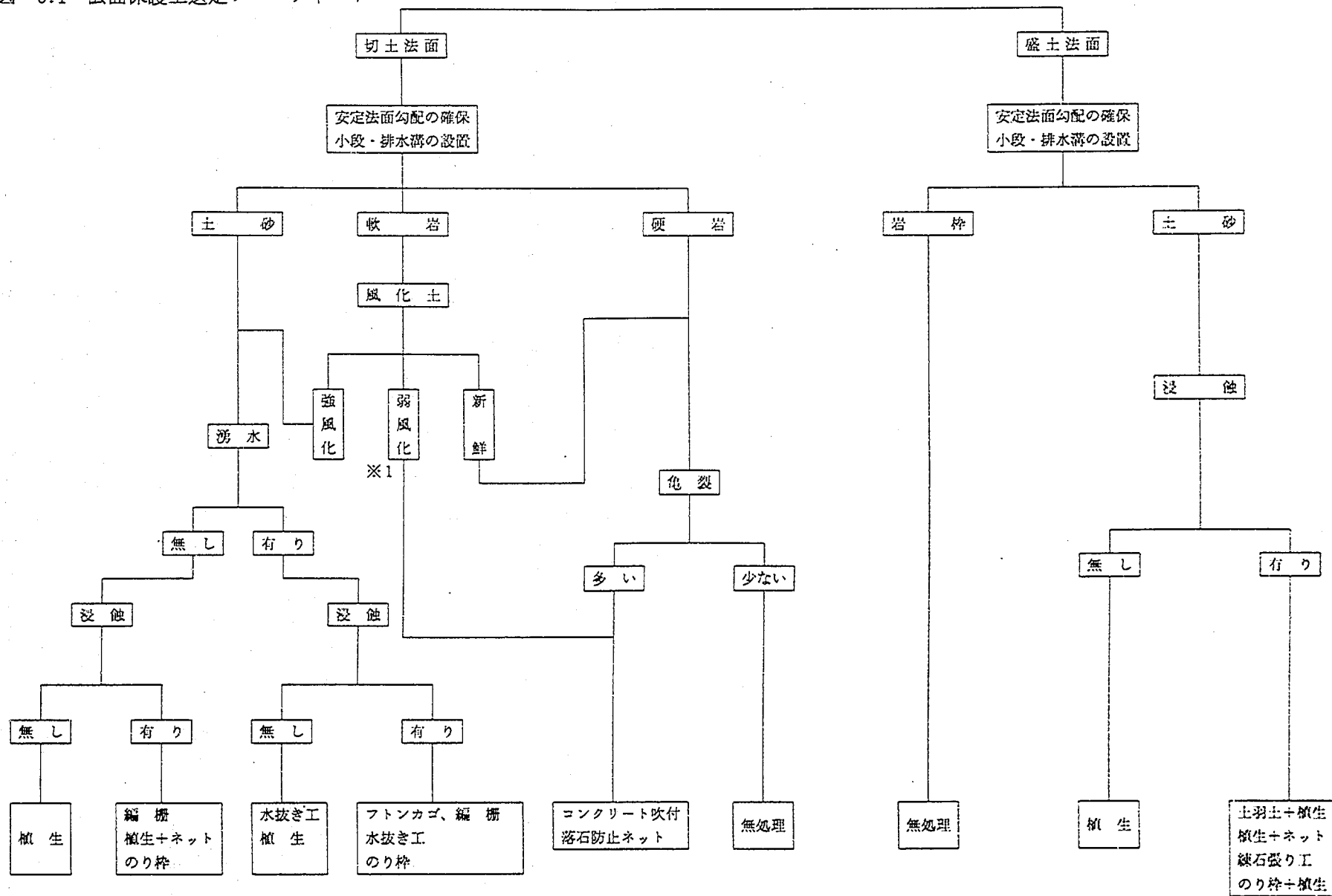
そこで、危険法面に対する法面保護工を選定するには、まず危険法面の現況を十分に把握するために現地調査、地質調査を行い、地形、地質および法面の現況、予想される崩壊のタイプ、発生時における道路交通に対する影響などを明らかにすることが必要となる。

なお危険法面の判定には6.1.2で提案した危険性判定基準により危険の予想される法面を選定することから出発することとなる。

2) 法面保護工の種類

危険法面の現況が明らかとなれば基本的には図-6.1法面保護工選定フローチャートに従って法面保護工の選定を行う。落石防止ネット、プレキャストコンクリート枠工（フリーフレーム）以外はパイロット・ワークで施工しており、フィリピンにおける法面保護工として十分適用が可能である。

図-6.1 法面保護工選定フローチャート



※1 新鮮で急速劣化の恐れがあるものを含む

フィリピンにおける現況での法面災害の実態を考慮した場合、法面保護工の施工は当然必要であり、これにより災害の減少が期待できる。なお現在フィリピンで行われている法面保護工としては、排水溝、小段、コンクリート吹付、待ち受け擁壁、練石張り、植生工などが実施されており、排水施設、小段、コンクリート吹付工、待ち受け擁壁工および練石張り工が法面保護工として効果を発揮している。ただ植生工については、法面を構成する土質により、対策工としての効果が影響されるので工種の選定にあたっては事前の現地調査を十分に行うことが必要である。

3) 法面保護工に関する提案

すでに明らかなように、調査対象区間では法面崩壊防止を目的とした対策工は皆無であり、また台風通過に伴う集中豪雨が年2～3回は発生しており、法面は常に危険な状態にあるといっても過言ではない。このような状況を考えると、現況道路の改良などに伴う詳細設計では恒久的対策を考慮し、次の要領で法面検討を行うことが必要である。

(a) 現地調査

計画路線の地形、地質調査を行って法面を構成する土質、地質、地質構造、植生状況を明らかにし、設計、施工に必要な基礎資料を収集する。

この場合、切土高および盛土高さが20m程度以上となる長大盛土法面については、ボーリングによる地質調査を行い、より詳しい地質、地盤状況を明らかにする。

(b) 設計

基礎資料をもとにして、図-6.1の法面保護工選定フローに従って、法面保護工を決定する。なお、法面保護工の設置にあたっては、土質、地質に応じた法面勾配の確保、排水溝の設置、小段の設置が前提である。

(c) 施工

施工時には、設計時点で考慮した法面の地質状況が適切であったかどうかをチェックし、もし異なるようであればその土質、地質に適した法面保護工に変更する。

盛土地盤から湧水、浸透水が見られる場合は敷砂工や地下排水溝、排水パイプを敷設、埋設し、地下水の盛土地盤内への上昇を防止する。

4) 応急対策工法としての提案

すべての道路法面において、短期間に安定勾配の確保や図-6.1に示す法面保護工を施工することが困難な場合には、それまでの応急的な対策工として次のことを提案する。

(a) 切土法面

・路肩に余裕がある場合や、線形のシフトが可能な地域の法面崩壊に対しては待ち受け擁壁を構築し、背面に土砂溜め平場を確保する。この場合、崩壊の規模については十分な現地調査を行うことが必要である。

・路肩に余裕のない場合には法面保護工にて対処する。崩壊危険箇所の地質が軟岩で容易に風化が進行しやすい地質の場合にはコンクリート吹付にて法面を保護する。崩壊危険箇所が基盤岩上位の土砂層の場合には崩壊跡を整形し、危険部分を除去する。基盤岩を覆って段丘砂礫層が分布する場合は境界付近より湧

水し、これが原因で崩壊するケースが多いので、境界付近に幅2.00m程度の平場を設置し、水抜きを行って、上部法面の安定を図る。

- ・硬岩からなる法面で、落石の危険性のあるものに対しては除去し、除去の不可能なものについてはロックネットにより保護する。また上方の自然斜面より落石災害が予想される場合には、ロックアンカー、ワイヤーロープ掛工などにより堅硬、安定な岩盤に浮石を固定する。

- ・大規模地すべりについては事前に調査ボーリングを行って地すべり機構を明らかにし、経済的、安定性の高い対策工を選定する。また場合によっては、ルート変更も検討の対象となる。

- ・フィリピンでは台風に伴う集中豪雨により土砂からなる切土法面は容易に「ガリ」が形成され、この拡大により法面は容易に崩壊する。従ってこのような法面に対しては、浸食防止のためののり肩、小段排水溝の設置、のり尻根固めのための石積、布団籠などが必要である。ただこの場合、掘削により崩壊、地すべり誘発の可能性があるかどうかについて十分調査検討が必要である。特に基盤岩と土砂層の境界がのり尻に出現する場合には注意する。

(b) 自然排水

- ・自然斜面の災害は集中降雨による土石流災害が主たるものであるもので、2～3段の砂防堰堤が必要であると共に横断構造物には余裕のある排水構造物を採用する。この意味で現道の横断構造物のチェックが必要である。

(c) 盛土斜面

- ・崩壊の原因が地表水、路面水の集中であるので、横断パイプ、路面排水系統をチェックし、側溝を整備する。特に流末の処理には十分な注意を払う必要がある。

6.1.2 危険度判定基準の試作と提案

1) 既存判定表の検証

フィリピンにおける道路法面の危険度判定基準については、日本の技術援助として国際協力事業団が1983年～85年にかけて実施した「フィリピン国道路防災計画調査」において提案されたものがある。これは道路防災に関する手引書の中にまとめられており、危険箇所の抽出に用いるものとして次の災害に対して提案されている。

- ・ 切土法面の崩壊
- ・ 盛土法面の崩壊
- ・ 落石
- ・ 地すべり
- ・ 土石流

これらの中で切土法面崩壊、盛土法面崩壊および落石に対する基準を本調査で調査された法面に対して適用した場合の適用性について検討を行なった。

それぞれの適用結果を表-6.1～表-6.3に示す。いずれの場合も本調査で対象とした法面のほとんどすべ

表-6.1 危険度の判定結果（切土法面崩壊）

危険度		サンプル数	崩壊発生数	崩壊発生率
A	5a	5	4	61.9%
	4a+b	46	29	
	3a+2b	151	92	
	合 計	202	125	
B	2a+3b	136	66	42.1%
	a+4b	42	9	
	合 計	178	75	
C	5b	1	0	0.0%
合 計		381	200	52.5%

表-6.2 危険度の判定結果（盛土法面崩壊）

危険度		サンプル数	崩壊発生数	崩壊発生率
A	5a	8	6	58.3%
	4a+b	20	14	
	3a+2b	56	29	
	合 計	84	49	
B	2a+3b	26	13	40.5%
	a+4b	16	4	
	合 計	42	17	
C	5b	1	0	—
合 計		127	66	52.0%

表-6.3 危険度の判定結果（落石）

危険度		サンプル数	崩壊発生数	崩壊発生率
A	5a	3	2	44.9%
	4a+b	2	1	
	3a+2b	64	28	
	合 計	69	31	
B	2a+3b	69	20	28.1%
	a+4b	20	5	
	合 計	89	25	
C	5b	0	0	—
合 計		158	56	35.4%

てが危険度AまたはBに評価され、危険度Aと評価された法面群の災害発生率がBの群のものの約1.5倍となっている。実態調査でも明らかなように調査対象区間の道路法面は厳しい条件下にあるにもかかわらず法面保護工もなく放置され、毎年多くの法面で災害が発生していることから調査対象法面が災害危険度の高い法面と評価されている点は妥当であると考えられる。またその中でも危険度が特に高いと評価された法面の被災率が高いことから、この基準がかなりの適用性を持っていると考えられる。

しかしながら、一方で危険度AまたはBと評価されたにもかかわらず、過去2年間に災害が発生しなかった法面もかなりの数あり、これらが危険性は高いものの過去2年間には発生せず、近い将来発生する可能性があるものなのか、安定した法面なのかは明らかでない。また、本調査で対象とされず、かつ過去に災害が発生していない法面、つまり安定性の高い法面がかなりの確率で危険度Cと評価されるのかについても明らかでない。これらの点については今後の調査を待つしかないが、この判定表は実用する中で改良していけば危険法面を抽出するうえで有用であると考えられる。

2) 法面採点表の試作

前述したようにフィリピンの道路法面に対する危険度判定法は既に提案されており、本調査の結果で検証した結果からも一定の適用性が確認されている。一方、本調査では739個の調査データを用いた数量化理論による要因分析の結果から、災害発生に寄与する要因、カテゴリーが点数評価されている。従ってこの結果に基づいた採点表を試作し、その適用性が確認できれば、今後のフィリピンにおける道路防災事業の一助になるばかりか、我国における未対策法面の防災事業に対しても一つの指針を与えることになると思われる。

法面採点表の基本的な考え方は、法面の持つ災害に寄与する要因を点数評価し、その結果から現状の法面安定性が他の法面と比較してどの程度であるかの相対比較を行い、対処すべき法面を選び出すことである。法面採点表は、広範囲の法面を一律にかつ、簡易な調査で判定するものであるから、できるだけ因子数の少ない簡単なものが望ましい。

要因分析の結果およびその他の調査結果を考慮して次の因子が適当であると考えた。

- ① 法面の高さ
- ② 法面の勾配
- ③ 平面形状
- ④ 断面形状
- ⑤ 浸食の程度
- ⑥ 地質構成
- ⑦ 水の状況

これらの因子をカテゴリーに区分し、数量化解析することにより各因子・カテゴリーの崩壊危険性に対する重み付けを行った。その結果に基づいて求めた評価点を表-6.4に示す。この法面採点表を用いて実態調査した全法面を採点した結果を図-6.2に示す。安定・不安定の適中率は71.5%である。判別点は13点であるが12点以上を危険法面とすると、不安定(崩壊)法面の80%以上がチェックされることになり、

表-6.4 のり面採点表試案（フィリピン用）

法 高	10 m未満		10 m～ 30 m		30 m以上					
	0		3		5					
法 勾 配	45 ° 未満		45 ° ～ 60 °		60 ° 以上					
	2		1		3					
平 面 形 状	尾 根 型 地 形		谷型地形		直 線 部					
	0		1		3					
断 面 形 状	凸斜面		凹斜面		直 線 斜 面		複 合 斜 面			
	1		3		1		5			
侵食の程度	小 さ い			中 程 度			大 き い			
	0			1			5			
地 質 構 成	硬 岩		軟 岩		礫まじり土		砂質土		粘 性 土	
	1		2		1		3		1	
水 の 状 況	無 し			地 表 水				地 下 水		
	0			1				2		

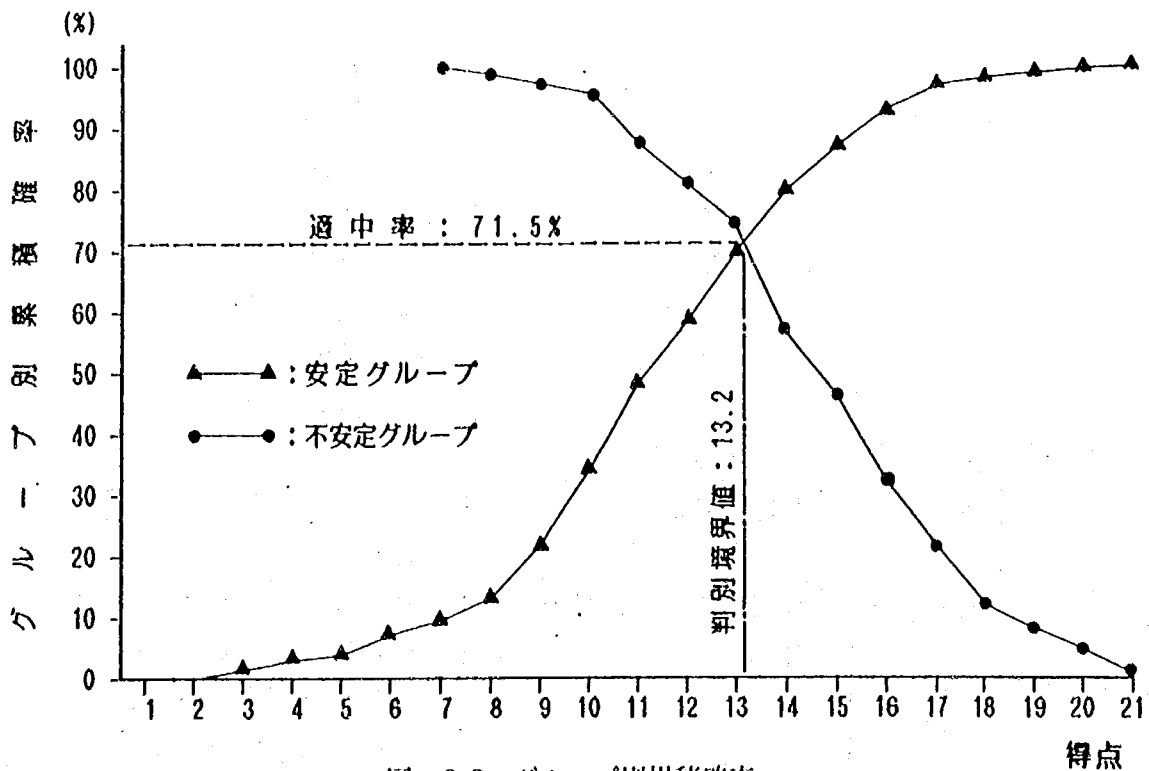


図-6.2 グループ別累積確率

より詳細な調査が必要な法面の選定には充分であると考えられる。

この法面採点表は71.5%という高い適中率を示したが、採点表の作成に用いたデータが地域的にも区間的にもごく一部のものであり、これをこのままフィリピン全土の法面の判定に用いるにはその精度に疑問が残る。従って、今後より広域のデータによる検証をおこない、精度を高めていくことが求められる。

3) 危険度判定に関する提案

6.1.1で述べたように道路法面の防災事業は次の過程で行われる。

- ① 対象道路・区間から災害危険箇所を抽出する。
- ② 抽出された災害危険箇所を詳細に調査する。
- ③ 調査結果に基づいて必要な対策を講じる。
- ④ 点検・保守を行う。

この過程の中の①はルート全体について簡易に見落としなく行うことが必要であり、徒歩点検程度の調査で行う危険度判定法の利用が望ましい。フィリピンの法面に対する危険度判定法としては本調査で検証した既存の判定表と本調査で作成した法面採点表の二つがあり、それぞれに下表に示したような特徴がある。日本の判定基準の適用性検討でも明らかになったように、定性的な判断で判定可能な判定表は条件が多少変わってもある程度の適用性が確保されるが、定量的な評価を行う採点表は条件の変化によりその精度も大きく変化する。しかし、一定の精度が確保できる採点表を用いれば、評価した法面間の危険度の相対評価ができ、総合的な防災対策を立案する上で有用であるばかりでなく、評価された法面がどの因子によって危険度が高くなっているかも明らかとなる。

表-6.5 判定表・採点表の特徴

	既存の判定表	法面採点表試案
調査項目	① のり高 ② 勾配 ③ 地質 ④ 植生 ⑤ 水の状況 ⑥ 侵食の状態	① のり高 ② 勾配 ③ 平面形状 ④ 断面形状 ⑤ 侵食の程度 ⑥ 地質 ⑦ 水の状況
調査方法	Yes, Noの判断	カテゴリーの選定
判定方法	Yes, Noの数	カテゴリー毎の得点の合計
判定結果	危険度A, B, Cの評価	判別点より大きい、小さいかで評価すると共に法面どうしの危険度の相対評価が可能

従って、本調査で提案された法面採点表により危険箇所の抽出を行う中で、フィリピンの法面に関するデータを蓄積し、採点表自体をより充実させていくことが求められる。

6.2 特殊条件下での道路法面防災に関する提案

本調査では、我国に比べて厳しい気象条件を有するフィリピンにおける道路法面および法面災害の実態を3年間にわたり調査し、要因分析を始め各種の分析を通して異常気象時や無処理の道路法面災害の特徴を解明してきた。一方、我国においても梅雨前線や台風に伴う集中豪雨などの異常気象時に急峻な山間部や脆弱な地質の道路法面で災害が発生しており、これらの特殊条件下での道路法面の防災に対して、本調査で明らかとなった諸点の中には有用な点も多いと思われる。

本調査の調査結果に基づき、日本における道路法面防災技術を更に発展させていく上で有用と考えられる諸点をまとめると以下のようになる。

1) 危険度判定法の適応について

我国の道路法面防災事業では、危険法面の抽出を行なう上で各種の危険度判定手法が利用され、その効果をあげている。法面の危険度判定手法に関しては、本調査でも明らかとなったように、法面の危険度を高める要因が法面の置かれている環境などによって違うため、判定の精度を上げるためには調査法が繁雑となり効率が落ち、調査法を簡便にすると精度が落ちるという矛盾をもっている。現実的には実用性を考慮したレベルで判定法が作成されているものと考えられるため、その適用にあたっては適用条件を十分に考慮して行うことが必要であろう。

高温・多雨という条件下で、しかもほとんどが無処理の法面を対象として作成したフィリピンの道路法面に対する採点表試案は、我国における同様な条件下で法面の危険度判定を行う際に適用条件を考慮するにあたり、参考になる。

2) 集中豪雨による法面災害に対する規制雨量

フィリピンにおける道路法面災害の現況は、法面の地形・形状的な条件に制約され、急勾配で切土されており、かつ法面保護工がほとんど施工されていない。このため、台風に伴う集中豪雨などにより法面災害が多発している。

既に述べたように法面崩壊と崩壊時の推定降雨量との関係から、フィリピンでは連続雨量が150～200mmに達すると崩壊が発生しており、この雨量は日本の通行規制雨量と比較するとやや少ない。我国では、降雨パターンも異なり、殆どの法面には何らかの法面保護工が実施されているので、フィリピンの実態をそのまま適用できないが、今後の山岳道路の交通規制等に対する参考になると思われる。

3) 法面防災の観点からみた注意事項

a) 地質構成について

第4章で述べたようにフィリピンにおいては次のタイプの法面において災害が多発しているため、日本においても同様の特徴を持つ法面は点検に際して留意する必要があるだろう。

- ① 崖錐斜面 : 礫まじり土や粘着力に乏しい砂質土の比較的薄い崖錐層で構成された法面であり、規模の小さい表層すべりが発生する。
- ② 砂礫斜面 : 丘陵地形に多く、崖錐や崩積土で構成され高さも低く勾配も緩い法面であり規模の小さい浅い崩壊が発生する。
- ③ 風化土斜面 : 風化の進んだ火山碎屑岩や構造変質を受けた岩石の強風化による粘土化土層、熱帯地方特有の石灰岩から変質した赤色風化土などで構成された法面であり、崩壊の規模は一般に大きい。
- ④ 軟岩・風化土法面 : 砂岩・泥岩の互層などで構成された傾斜の緩い基盤の上に土砂が堆積した斜面であり、崩壊の規模は一般に大きい。
- ⑤ きれつ斜面 : 節理が発達した深成岩などの岩石で構成され、法高も高く勾配も急な法面であり、剝離型落石が発生する。
- ⑥ 風化互層斜面 : 堆積岩の互層や頁岩などの岩石で構成され、割れ目や層理面が山側に傾斜している法面であり、硬軟砂のある互層で硬岩部が残った場合に剝離型落石が発生する。
- ⑦ 風化残礫斜面 : 強風化を受けた岩石で構成され、一部土砂化した法面であり、規模の小さい抜け落ち型落石が発生する。

b) 岩の風化について (第三紀以後の堆積岩および変質岩)

乾湿繰返し試験の結果からも明らかなように、泥岩、礫岩、変質輝緑岩などの軟岩は容易に吸水膨脹し風化の進行が速く、フィリピンにおいてこれらの岩が露呈している斜面では崩壊が頻発している。

このため、第三紀以後の堆積岩および変質岩を切土する場合は、風化防止のための保護工の設置が重要である。

c) 法面の形状について

フィリピンにおける道路法面の実態調査の結果、断面形状が図6.3に示すような逆S型の法面において崩壊が比較的多く発生していることが明らかとなった。

この形状を示す法面の多くは、未固結土層が基盤岩を覆って発達した地質構成の法面において、この土層が崩壊したために形成されたものと考えられる。そして、この形状が形成された以降も依然として未固結土層が不安定な状態で堆積していることが予想される。また、基盤岩と未固結土層の境界は法面に対して流れ盤状で、かつ地下水、浸透水の通路となり易く、崩壊を誘発しやすい状態である。

日本においても逆S型の断面形状の法面では同様の危険性が考えられるので法面点検に際しては特に留意する必要がある。

d) 深部排水の必要性について

暗渠工や排水工などで処理できない深いところに存在している地下水を排除するために横ボーリング工が利用されているが、第4章で述べた崩壊形態のタイプ⑤のような土層が堆積している法面については、法面の表層部だけでなく深部まで横ボーリングを行い、ボーリング孔より集水した地下水を速やかに集水

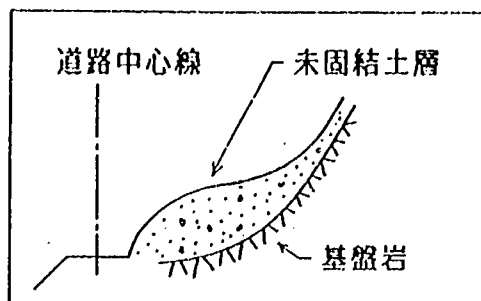


図-6.3

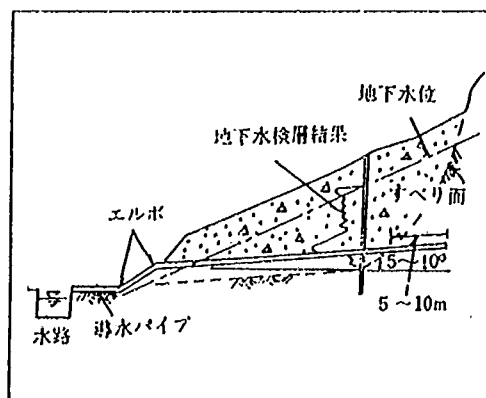


図-6.4

ます、排水路に流入させ、斜面外へ排水することが必要であろう。(図-6.4)

4) 切土の標準法勾配について

フィリピンにおける土砂の切土法面について高さ、勾配と安定性との関係を検討した結果は第5章の表-5.29に示したとおりである。この結果より、土砂法面については高さ、勾配だけでは、多様な条件下の法面の安定性を十分に評価しきれない面があることが明らかとなった。我国においては法面保護工の設置が前提となっているため、フィリピンの法面での検討結果から短絡的に結論付けられないが、現行の「道路土工-のり面工・斜面安定工指針」の標準法勾配は、幅をもたせてはあるものの高さのみとリンクさせた規定となっているため、法面の形状や土質・地質の状況などの要因をも加味した、よりきめ細かな規定を今後検討していく必要があると思われる。

5) 植生工適応土質の判定

本調査ではパイロット・ワークとして施工した植生工の追跡調査において、植物の成育する土層の土塊強度を土研式貫入試験器を用いて調査した。その結果、 $N_c < 5$ の土層では全体的に植物の繁茂が良好であり、 $N_c < 10$ の土層では植物の成育は良好ではなかった。

一般に日本では土塊硬度指数27mm付近を目安にして植生工の範囲を決定しているが、表層崩壊の調査に土研式貫入試験器を利用する場合、本調査で得られたデータが植生工の施工範囲決定の参考資料となると思われる。

土研式貫入試験器は土塊硬度計に比べて調査に手間はかかるが、調査深度が深く、土層の全体的な性質を把握できる点では有利である。表層の硬度指数のみでなく、深さ方向の土塊硬度も参考にして植生の可能範囲を決定することが今後の課題であろう。

道路法面防災に関する研究

I S S N 0386—5878
土木研究所資料第2845号
平成 2 年 3 月(1990)

大木達夫・嶋津晃臣・
田中資・藤川昌幸

要 旨

本資料は、フィリピン共和国における道路方面災害について実態調査、要因分析などを通してその特性を把握し、厳しい自然条件下における道路方面防災技術に関して得られた知見について述べたものである。
なお、この研究はフィリピン共和国と共同で行われたものである。

キーワード：法面防災・法面保護工・斜面安定

郵便はがき

3 0 5 - □ □

41円切手
をはって
下さい。

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
機械施工部施工研究室
行

No. 40

土研資料第2845号

No. 40

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料2845号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏名



土木研究所資料2845号